



Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

Escola de Minas

Departamento de Engenharia de Minas

(Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia de Minas)

**Plano de recuperação de área com voçoroca na porção noroeste do Campus Morro do
Cruzeiro - UFOP**

Daniela Arcanjo Paiola Ferreira

Ouro Preto, 2017

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Daniela Arcanjo Paiola Ferreira

**Plano de recuperação de área com voçoroca na porção noroeste do Campus Morro do
Cruzeiro - UFOP**

**Trabalho de conclusão de curso de Graduação em
Engenharia de Minas entregue ao Departamento de
Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade
Federal de Ouro Preto. Área de concentração:
Recuperação de Áreas degradadas**

ORIENTADOR : Hernani Mota de Lima

COORIENTADORA: Alessandra Rodrigues Kozovits

Ouro Preto, 2017

F383p

Ferreira, Daniela Arcanjo Paiola.

Plano de recuperação de área com voçoroca na porção noroeste do Campus Morro do Cruzeiro - UFOP [manuscrito] / Daniela Arcanjo Paiola Ferreira. - 2017.

59f.: il.: color; graf.; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.

Coorientadora: Profª. Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Erosão. 2. Voçorocas. 3. Cobertura vegetal. I. Lima, Hernani Mota de. II. Kozovits, Alessandra Rodrigues. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 551.235.162

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 07 dias do mês de abril de 2017, às 14h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA COM VOÇOROCA NA PORÇÃO NOROESTE DO CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO - UFOP”**, pela aluna **Daniela Arcanjo Paiola Ferreira**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima (orientador)**, **Prof. M.Sc. José Fernando Miranda e Biólogo Denny Fernandes Eduardo**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela *aprovação* da candidata, com a nota *8,2* concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

A aluna fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 07 de abril de 2017.


Prof. Dr. Hernani Mota de Lima
Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Membro da Comissão Avaliadora


Biólogo Denny Fernandes Eduardo
Membro da Comissão Avaliadora


Daniela Arcanjo Paiola Ferreira


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a toda a minha família pelo apoio e incentivo durante esta longa jornada de desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Ao meu marido Lucas Mardones Gaião pelo companheirismo e carinho.

Ao Prof.^o Dr.^o Hernani Motta de Lima pelas correções e auxílios.

A Prof.^a Dr.^a Alessandra Rodrigues Kozovits pelas orientações.

E a Prof.^a Maria Silvia Carvalho Barbosa por disponibilizar as tomografias e os dados geofísicos utilizados neste projeto.

A Camila Sodré Ramos por me acompanhar nas visitas de campo.

RESUMO

Os processos erosivos quando desencadeados por ações antrópicas podem causar diversos prejuízos socioambientais e financeiros. A contenção e reparação destes, por sua vez, demandam alto valor de capital e de mão de obra. Segundo diversos pesquisadores, o restabelecimento da cobertura vegetal é o melhor método de contenção em longo prazo de processos erosivos, sendo este, portanto, essencial na recuperação das áreas afetadas. Na porção noroeste do Campus Morro do Cruzeiro - UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, uma encosta apresenta duas voçorocas e uma feição erosiva em processo de erosão acelerada, que colocam em risco de escorregamentos edifícios e construções de infraestrutura. A área, hoje afetada pelo processo erosivo, era um dos taludes de uma antiga pilha de disposição de estéril da mina de bauxita que existiu no Morro do Cruzeiro. Este estudo propõe um plano de recuperação da área com o objetivo de controlar o processo erosivo, estabilizar estruturalmente a área, e possibilitar o desenvolvimento de uma comunidade vegetal e microbiota. Foi realizado, inicialmente, um estudo bibliográfico para estabelecer o referencial teórico que auxiliou no esclarecimento do sistema conceitual dos processos erosivos. Também através de estudos bibliográficos e estudos em campo, foram analisadas as características geológicas, geoquímicas e físicas da área; bem como os melhores métodos mecânicos e vegetativos de contenção de processos erosivos e estabilização de encostas para a área em estudo. Foi proposto o retaludamento da cavidade da voçoroca 1 e a utilização de mantas anti erosivas para o recobrimento imediato da cavidade retaludada. Para a voçoroca 2 foi proposto o preenchimento da cavidade da voçoroca com canga (material disponível nas proximidades da área de estudo). Para a feição erosiva foi proposta a construção de paliçadas de madeira. Foi proposta, também, a revegetação com a utilização de sementes de plantas nativas para o recobrimentos, em longo prazo, das encostas retaludadas da voçoroca 1, para o recobrimento da superfície da cavidade preenchida da voçoroca 2 e para os arredores das paliçadas da feição erosiva.

Palavras-chave: contenção de processo erosivo, voçoroca, estabilização de encosta, cobertura vegetal.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:	9
1.1 O PROCESSO EROSIVO	9
1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS.....	9
1.3 EROSÃO ANTRÓPICA (EROSÃO ACELERADA).....	10
1.4 DISTINÇÃO ENTRE RAVINAS E VOÇOROCAS.....	10
1.5 O INÍCIO DO PROCESSO EROSIVO.....	11
1.6 PRÁTICAS DE CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS.....	13
1.6.1 PRÁTICAS DE CARÁTER MECÂNICO	14
1.6.2 PRÁTICAS DE CARÁTER VEGETATIVO E EDÁFICO.....	14
1.7 COBERTURA VEGETAL E ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTA.....	15
CAPÍTULO 2: OBJETIVO.....	17
CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO:	17
3.1 FOTOS AÉREAS DA ÁREA ANTES E DEPOIS DA FORMAÇÃO DA EROSÃO	21
3.2 HISTÓRICO DA EXTRAÇÃO MINERAL NO MORRO DO CRUZEIRO	23
3.3 GEOLOGIA DA ÁREA.....	24
3.3.1 QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	24
3.3.2 BAUXITA	24
3.3.3 CANGA.....	26
3.4 VEGETAÇÃO DA ÁREA.....	28
3.5 CLIMA	28

3.6 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	29
3.7 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO	30
3.8 SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS E ESGOTO PRESENTES NA ÁREA E FORMAÇÃO DA EROÇÃO	33
CAPÍTULO 4: METODOLOGIA - ESTUDO DAS PRÁTICAS DE CONTENÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS.....	35
4.1 PRÁTICAS DE CARÁTER MECÂNICO.....	35
4.1.1 RETALUDAMENTO	35
4.1.2 PREENCHIMENTO DA CAVIDADE DA VOÇOROCA	36
4.1.3 DRENAGEM DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA.....	37
4.1.4 MURO DE ARRIMO PARA ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS VERTICAIS E RETENÇÃO DE SEDIMENTOS.....	38
4.1.5 BARREIRAS CONTRA FLUXO.....	39
4.2 PRÁTICAS DE CARÁTER VEGETATIVO.....	40
4.2.1 O USO DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS	40
4.2.2 RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA A TENSÕES CISALHANTES E O SISTEMA RADICULAR DAS PLANTAS	41
4.2.3 A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DAS PLANTAS E A MODIFICAÇÃO DO REGIME HÍDRICO DO SOLO.....	43
4.2.4 BIOMANTAS.....	43
CAPÍTULO 5: PLANO DE RECUPERAÇÃO PROPOSTO PARA A ÁREA EM ESTUDO:.....	44
5.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	44

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA ÁREA E RECOLHIMENTO DAS SEMENTES EXISTENTES	45
5.3 LIMPEZA DA ÁREA	45
5.4 SELEÇÃO DE SEMENTES PARA O ESTABELECIMENTO DA COBERTURA VEGETAL	46
5.5 RETALUDAMENTO DA CAVIDADE DA VOÇOROCA 1	48
5.6 CONSTRUÇÃO DE MUROS DE ARRIMO PARA A CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS NO INTERIOR DA CAVIDADE	49
5.7 REGULARIZAÇÃO DO TERRENO E APLICAÇÃO DA BIOMANTA	49
5.8 PREENCHIMENTO DA CAVIDADE DA VOÇOROCA 2 COM CANGA.....	50
5.9 CONSTRUÇÃO DAS PALIÇADAS NA FEIÇÃO EROSIVA	51
CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS:	51
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:.....	52

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

1.1 O PROCESSO EROSIVO

A erosão abrange uma série de processos naturais que envolvem (1) a formação e transporte de materiais detríticos provenientes da decomposição e/ou desagregação de rochas e solos, (2) e a consequente deposição destes em uma área diferente, transformando assim a geomorfologia das áreas afetadas (Carvalho, 2006). Chuvas, rios e ventos desgastam a superfície da terra transportando lentamente as partículas de solo. No estado natural, a vegetação protege a camada de solo e a remoção das partículas do solo é compensada pelo processo de formação deste, através da decomposição de matéria orgânica, de maneira que o ciclo de desgaste é normalmente equilibrado pela renovação da matéria orgânica (Lepsch, 1977).

Quando um sistema (montanha, bacia hidrográfica, talude, rocha exposta, etc., não é capaz de dissipar as forças provocadas por agentes como chuva, vento, ondas, marés, correnteza ou gelo, este tende a dissipar esta energia recebida através da modificação do seu formato original, de forma a atingir um novo estado de equilíbrio. No caso dos solos a erosão ocorre por motivos semelhantes, quando ocorre uma mudança na quantidade de energia disponível (causada por aumento da intensidade e frequência das precipitações, aumento do teor da umidade dos solos, etc.), ou quando ocorre uma alteração nas características de uma determinada área (resultantes do uso inadequado do solo, remoção da vegetação, aumento da declividade local, concentração de fluxos de água da chuva, lançamento inadequado das drenagens, etc.), tem-se um remodelamento da área que ocorre de forma a corrigir tal situação de desequilíbrio entre a quantidade de energia disponível e a capacidade de dissipação de energia do sistema (Bak, 1997 *apud*. Guerra, 2005).

1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS

Os processos erosivos, portanto, constituem-se em uma forma natural de modelamento do relevo que age continuamente na superfície da Terra e representa um dos principais agentes naturais de transformação fisiográfica do planeta. Academicamente, o rompimento do equilíbrio natural do sistema devido a alterações naturais, acarreta na origem da chamada erosão natural ou geológica, porém quando o desequilíbrio no sistema é causado por atividades humanas e não é permitida sua

conformação e recuperação natural, ocorre a origem a uma erosão classificada como erosão acelerada ou erosão antrópica (Carvalho, 2006).

1.3 EROSÃO ANTRÓPICA (EROSÃO ACELERADA)

A erosão antrópica, pode acarretar em uma série de prejuízos, como a perda de solos férteis; poluição de corpos de água e redução do volume de água disponível para abastecimento urbano e agropecuário; ocorrência de desabamentos urbanos; assoreamento de cursos de água e a conseqüente destruição do hábitat aquático; assoreamento de reservatórios utilizados em hidroelétricas, que potencialmente ocasiona na diminuição na produção de energia elétrica; entre outros. Os malefícios citados, além de poder acarretar na irreparável perda de vida humana, representam um pesado ônus econômico, social e ambiental para qualquer país, principalmente para aqueles que, como o Brasil, estão sujeitos a um clima tropical, caracterizado pelas elevadas taxas pluviométricas e taxas de intemperismo químico, o que torna o fenômeno de erosão mais efetivo (Carvalho, 2006).

Portanto, fica evidente a necessidade da elaboração de projetos de controle e prevenção processos erosivos que tenham como objetivo minimizar os malefícios causados pelas erosões provocadas por ações antrópicas, para tal, é de extrema importância a identificação dos principais mecanismos envolvidos no processo de formação destes e da interação entre eles. Por este motivo, neste trabalho é abordado, inicialmente, as características importantes da dinâmica de erosão e dos processos iniciais de formação da mesma (Guerra, 2005).

1.4 DISTINÇÃO ENTRE RAVINAS E VOÇOROCAS

Uma das características de identificação dos mecanismos erosivos são as chamadas feições erosivas que podem ser observadas através de incisões em diferentes graus de atividade e de evolução . Dentre as feições erosivas mais comuns existentes na crosta terrestre, tem-se as ravinas e as voçorocas e ambas podem ser descritas como incisivos naturais que derivam de rotas tomadas pelos fluxos de água que podem ocorrer na superfície ou em subsuperfície, respectivamente (Coelho Netto, 1998). Porém, pode-se distinguir ravinas e voçorocas através de dois pontos de vista, o primeiro deles, mais utilizado, é uma distinção de caráter dimensional e segundo este

critério, ravinas seriam incisões de até 50 cm de largura e profundidade, acima desses valores as incisões erosivas são consideradas voçorocas (Ponçano e Prandini, 1987; Guerra, 1998 *apud* Guerra, 2005).

O segundo critério de distinção entre ravinas e voçorocas, determina que ravinas seriam canais criados pela ação do escoamento superficial, e voçorocas, canais criados pelo afloramento do lençol freático (Canil, 1995 *apud* Guerra, 2005). Apesar de útil do ponto de vista técnico, pois facilita o planejamento de eventuais obras de controle e prevenção de incisões erosivas, tal definição opõe mecanismos que poderiam interagir em diferentes estágios do processo erosivos, de maneira sequencial, dificultando a compreensão da evolução do processo erosivo a partir de sulcos, passando por ravinas e chegando a voçorocas. Embora tal evolução nem sempre seja pertinente, a sua utilidade pedagógica é inegável (Guerra, 2005).

1.5 O INÍCIO DO PROCESSO EROSIVO

Dentre os mecanismos responsáveis pelo processo erosivo, cita-se: (1) o deslocamento de partículas pelo impacto das gotas da chuva, conhecido como erosão por salpicamento, que resulta na ruptura dos agregados em partículas menores e acarreta na erosão, através da projeção de partículas para fora da zona de impacto (Guerra e Guerra, 1997 *apud* Guerra, 2005) e também na compactação da superfície do terreno, via remobilização de silte e argila nos espaços intergranulares, uma vez que os agregados preenchem os poros da superfície do terreno, diminuindo assim a porosidade e aumentando o escoamento das águas (Farres, 1978 *apud* Guerra, 2005); (2) variações no nível do lençol freático podem ocasionar saturação do solo e aumento da poropressão, de maneira que materiais consolidados comportem-se como fluidos, onde a fluidização e a liquefação, podem gerar o desprendimento das partículas do solo (Inverson e Major, 1986 *apud* Guerra, 2005).

O processo de fluidização ocorre quando um fluido percola através de partículas empilhadas. A liquefação, por sua vez, ocorre de maneira diferente. No estado de equilíbrio de um sistema sólido, as partículas experimentam um empuxo que é contrabalanceado por seus pesos individuais, um aumento do nível do lençol freático, por exemplo, pode acarretar em um aumento suplementar do empuxo o que provocará a anulação das forças de atrito e no desprendimento das partículas individuais. O processo de liquefação ocorre quando materiais inconsolidados são

submetidos a uma tensão cisalhante de natureza cíclicas, ou seja, quando o solo está saturado, a poro-pressão exercida pela água nos microporos reduz as forças de coesão e desencadeia na mobilização do material. O estado de liquefação é relativamente rápido, quando a saturação resulta de variações do nível do lençol freático, a liquefação pode ocorrer em ritmos sazonais, sendo as estações úmidas as mais propícias. No caso de zonas de saturação suspensas, a liquefação pode ocorrer durante chuvas que se estendam por um ou mais dias (Oliveira, 2005).

Após a saturação do solo, também tem-se o início da formação de poças, que, dependendo da inclinação do terreno, acarretará no transporte de partículas de solo por escoamento superficial, uma vez que as tensões cisalhantes que atuam no sistema superam a resistência estática das partículas individuais e, a partir deste momento, o fluxo é capaz de manter o movimento generalizado das partículas (Bridge, 1981, *apud* Oliveira, 2005). Para ocorrer erosão é necessário que um certo limiar de velocidade do fluxo seja ultrapassado, o que varia de acordo com as partículas. Este mecanismo depende, principalmente, da geração de fluxos de chuva, e sua escala temporal de atuação depende da duração e da intensidade dos eventos chuvosos. Ao convergir para micro-depressões do terreno, o escoamento superficial se transforma em fluxo concentrado, formando sulcos, ravinas e posteriormente, voçorocas. A dissecação, ou aprofundamento de incisões, sob o efeito do escoamento superficial concentrado ao longo do tempo depende, entre outros fatores de caráter local (declividade, características mecânicas dos materiais, etc.), da frequência de chuvas volumosas ou concentradas (Oliveira, 2005).

Diversos tipos de movimento de massa podem ser verificados em voçorocas, tais movimentos são influenciados por fatores que podem ser organizados de acordo com sua contribuição, seja para aumentar as tensões cisalhantes ou seja para diminuir a resistência ao cisalhamento dos materiais em áreas suscetíveis à erosão por voçoroca. Dentre os fatores que aumentam as tensões cisalhantes em encostas e paredes de voçorocas pode-se citar a remoção de suporte lateral; a sobrecarga; solapamento; a pressão lateral; e as tensões transitórias relacionadas a vibrações de diversas origens. E, dentre os fatores que podem diminuir a resistência ao cisalhamento dos materiais, temos: reações físico-químicas; efeitos de água matricial; alterações da estrutura; e principalmente a remoção da vegetação que causará a perda do solo grumoso (Guidicini e Nieble, 1976, *apud* Oliveira, 2005).

Com o aumento do nível freático, que pode ocorrer devido a maior incidência de precipitações, a água que atravessa o meio poroso e aflora ao longo de uma superfície exposta, tende a arrastar as partículas por percolação. A mobilização das partículas podem ocorrer por fluidização ou por colapso de materiais coesivos. Este tipo de arraste de partículas gera um tipo de erosão que é denominado erosão de vazamento (Coelho Netto, 1998).

O arraste de partículas também pode ocorrer em fluxos concentrados em túneis ou dutos, tais arrastes ocorrem sob o efeito de água de escoamento superficial e subsuperficial que penetra em furos biogênicos, ou fendas de diversas origens. Se a água atingir o túnel por via subsuperficial, predominam forças e fatores que atuam na erosão por vazamento. Se a água se origina de fluxos superficiais, predomina a atuação de fluxos turbulentos. A erosão em túneis trata-se, portanto, de um excelente exemplo da interação entre diferentes mecanismos fundamentais que podem gerar feições erosivas uma vez que ocorre a atuação simultânea de diferentes mecanismos ao longo dos dutos (Dunne, 1990 *apud* Oliveira, 2005).

1.6 PRÁTICAS DE CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS

Com o objetivo de realizar as práticas que visam minimizar a perda de solo pelo avanço do processo erosivo é fundamental que a área afetada seja isolada para assegurar a segurança das pessoas locais e garantir que o local não seja utilizado de maneira inadequada, o que poderia acelerar a erosão da área. Uma das primeiras etapas de um projeto de recuperação de áreas degradadas é o levantamento topográfico do local. Posteriormente, são comumente realizadas análises químicas, físicas e texturais do solo, de acordo com o tempo e a verba disponível para a realização do projeto. Após, são elaboradas as práticas mecânicas compatíveis com as limitações estruturais do solo. Em alguns casos também são realizadas práticas edáficas, de maneira a proporcionar os nutrientes necessários para o crescimento da cobertura vegetal adequada.

1.6.1 PRÁTICAS DE CARÁTER MECÂNICO

Dentre as práticas de caráter mecânico de conservação do solo mais utilizadas, pode-se citar: a) estruturas para desvio e infiltração das águas pluviais (drenagem e barreiras contra fluxo); b) retaludamento; c) construção de terraço do tipo patamar; d) construção de terraços do tipo camalhão; e) preparo do solo e plantio em curvas de nível ; f) estrutura para controle de erosão (ex: paliçadas). De forma geral essas práticas são as que requerem maior dispêndio de recursos financeiros, porém são indispensáveis para que terrenos com alta declividade possam ser devidamente conservados. Dentre os fatores que devem ser considerados na escolha das práticas de caráter mecânico, podem-se citar: a) características físicas e químicas do substrato; b) declividade da área; c) infraestrutura local; d) verba disponível para o desenvolvimento do projeto (Lepsch, 1977).

1.6.2 PRÁTICAS DE CARÁTER VEGETATIVO E EDÁFICO

As práticas de caráter vegetativo visam controlar a erosão aumentando a cobertura vegetal, de maneira que esta garantirá a renovação do solo através da decomposição da matéria morta e a disponibilização de nutrientes. Dentre as principais práticas de caráter vegetativo podem-se citar: a) reflorestamento; b) formação e manejo adequado de pastagens; c) culturas em faixas com renques de vegetação em nível que interceptam o escoamento das águas; d) plantio de grama nos taludes das estradas; e) plantio de faixas de árvores para a formação de quebra vento; f) e controle das capinas, podando a cobertura vegetal ao invés de arrancá-la ou queimá-la.

Dentre os fatores que devem ser considerados para a correta elaboração de projetos de práticas vegetativas temos: (1) Análise das características climáticas, como variação temperatura, precipitação, e umidade relativa do ar. (2) Análise dos nutrientes disponíveis para as plantas. (3) Análise do pH. (4) Estudo das plantas já existentes no local a fim de analisar se esta pode ser utilizada como cobertura vegetal. (5) Análise bibliografia de plantas nativas da região que auxiliem no controle do processo erosivo e que possuem as características que melhor adaptam-se às características climáticas e edáficas do solo, tendo em vista que estas necessitam de nutrientes para crescer e gerar descendentes férteis (Primavesi, 1980).

De maneira a assegurar a expressão dos processos naturais e a recuperação do meio é necessário, inicialmente, que os nutrientes presentes no solo estejam em proporções adequadas e biodisponíveis para as plantas. No entanto, alguns solos, em especial solos de áreas que estão em processo de erosão ou em taludes existentes em minas exauridas ou abandonadas, apresentam concentração de certos tipos de elementos, como os metais-pesados por exemplo, que podem causar toxicidade e inibir o crescimento da maioria da espécies vegetais. Por sua vez, algumas espécies apresentam a capacidade de evitar ou tolerar a toxicidade destes elementos, permitindo assim o estabelecimento de uma comunidade vegetal. Portanto, ao se escolher plantas para projetos de controle de erosão aconselha-se uso de plantas que sejam tolerantes aos elementos que estejam em excesso na área (Machado, 2011).

A ideia de utilizar plantas para a remediação de ambientes, denominada de forma geral, fitorremediação, possui muitas referências, e de forma geral, esta baseia-se no uso de plantas tolerantes para degradação, volatilização, filtração, extração ou estabilização de elementos potenciais tóxicos presente no solo, água e ar (Susarla,2002 *apud* Machado, 2011). Estas técnicas tem se mostrado bastante promissoras e efetivas como citado por Machado (2011), uma vez que, além de facilitar a recuperação da área degradada apresentam baixo custo e baixa necessidade de manejo.

1.7 COBERTURA VEGETAL E ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

Como esclarece Primavesi, (1980) e Silva, (2005), a cobertura vegetal é a defesa natural do terreno contra a erosão e o principal fator estabilizador do sistema energético da superfície terrestre. As plantas ajudam a conservar a bioestrutura grumosa do solo, o que garante a porosidade do substrato e sua capacidade de retenção de água, promovendo coesão eficiente e boa estruturação do solo. Suas raízes formam canalículos no solo que aumentam a infiltração da água das chuvas. Além disso, a cobertura vegetal diminui a velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície, diminuindo assim a erosão.

Com a retirada da vegetação o solo fica exposto à erosão provocada pela água da chuva, ocorre a diminuição da resistência ao cisalhamento pela saturação e a perda da resistência a água com a destruição dos agregados grumosos. A água não infiltra devido a compactação o que acarreta no arraste de partículas superficiais que podem resultar na formação de processos erosivos (Bertoni

e Lombardi Neto, 1990). O arraste de partículas para cursos de água também acarreta no desequilíbrio os ambientes aquáticos e também na contaminação de reservatórios de água. A compactação dos solos por sua vez pode desencadear na formação de enchentes, uma vez que, devido ao fato da água da chuva não infiltrar no solo, esta tende a escorrer para áreas de baixo nível altimétrico como vales e cursos de água, aumentando excessivamente o nível dos cursos de água o que pode prejudicar também ambientes urbanos próximos (Primavesi, 1980). Segundo Martins, (2003), a erosão hídrica é o principal fator de redução da produtividade dos solos atualmente.

Outro benefício da cobertura vegetal é que esta possui um caráter renovador natural uma vez que proporciona a matéria orgânica, possibilitando a ação dos microorganismos e a recomposição do solo. As plantas realizam modificações físico-químicas no solo, uma vez que influenciam fortemente nos processos de pedogênese, resultando na liberação de diversos elementos para a solução, e aumentando portanto a biodisponibilidade destes. O crescimento das raízes também promove a movimentação dos nutrientes entre os perfis, processo denominado bioturbação (Lavelle e Spain, 2001).

A formação de grumos estáveis à ação da água, por sua vez, é o processo final da agregação química e biológica dos sedimentos presentes na crosta terrestre, este processo depende da contínua renovação da matéria orgânica e, conseqüentemente, da microvida essencial para este processo (fungos e bactérias). Ambos são encontrados e repostos pelo ciclo natural das plantas, de maneira que a autora concluiu que a fim de prevenir ou reparar os processos erosivos a manutenção da cobertura vegetal é fundamental (Primavesi, 1980; Silva, 2005)..

Após o início do processo erosivo, a contenção e estabilização desse demanda alto investimento financeiro e de mão de obra, e caso um plano de recuperação não seja executado, uma encosta não estável apresenta grande risco para a segurança e para o bem estar da população. Farias (1992), afirma que a importância de projetos de implementação da cobertura vegetal em controle de processos erosivos está na captação e transformação de energia, que manterá toda a cadeia trófica, gerando sítios ecológicos associados aos fatores ambientais e melhorando também o seu impacto visual. Além disto a formação de sítios ecológico atrairá dispersores como pássaros, insetos e outros animais de pequeno porte, que através da dispersão de sementes e pólen, facilitarão a renovação e dispersão das plantas.

Segundo o conceito básico de sucessão ecológica, as plantas de pequeno porte também chamada de pioneiras são as primeiras a se adaptar ao solo após uma situação de desequilíbrio, estas fornecem matéria orgânica e sombra o que facilita o crescimento de plantas de médio porte, possibilitando o desenvolvimento das próximas sucessões ecológicas (Primavesi, 1980).

Portanto, a fim de assegurar o controle do processo erosivo e o restabelecimento de processos ecossistêmicos até o ponto em que o sistema solo-meio ambiente seja capaz de se sustentar estrutural e funcionalmente, é necessário um projeto com práticas vegetativas bem elaboradas que planeje a inserção de plantas que facilitam o desenvolvimento da sucessão ecológica.

CAPÍTULO 2: OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo elaborar um plano de recuperação para uma área que apresenta 1 feição erosiva e 2 voçorocas que encontram-se em uma encosta de uma antiga pilha de disposição de estéril. Para a elaboração deste plano foram realizadas análises bibliográficas e visitas de campo com o objetivo de caracterizar o substrato da área e, posteriormente, foram analisados diversos métodos de estruturação do terreno a fim de se avaliar os mais aptos.

CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área estudada neste trabalho está localizada na região noroeste do Campus Morro do Cruzeiro na Universidade Federal de Ouro Preto, em Ouro Preto, Minas Gerais. Na Figura 1 está delimitada em verde a área da UFOP e em vermelho a área onde encontra-se o processo erosivo. A voçoroca apresenta dimensões aproximadas de 120 metros de comprimento, 35 de largura e 10 de altura em média (Figura 2). As Figuras 3, 4 e 5, representam o interior da cavidade da voçoroca 1, e a Figura 6 evidencia o afloramento do lençol freático na base da cavidade da voçoroca 1.



Figura 1 - Local da voçoroca (Google Maps. Data de acesso: 19/01/2017)



Figura 2: Dimensão da Cavidade da Voçoroca (Google Maps. Data de acesso: 19/01/2017).



Figura 3: Cavidade da voçoroca 1 em 20/02/2017.



Figura 4: Destroços da tubulação de concreto de condução de água e esgoto que existia onde hoje encontram-se as erosões.

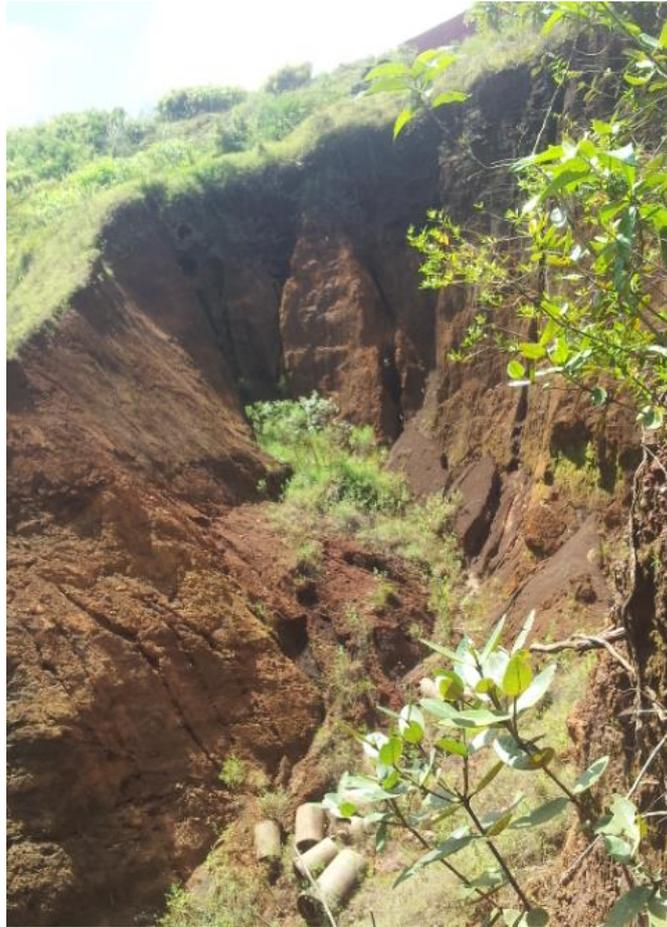


Figura 5: Cabeceira da voçoroca 1.



Figura 6: Fluxo de água no interior da cavidade da voçoroca

3.1 FOTOS AÉREAS DA ÁREA ANTES E DEPOIS DA FORMAÇÃO DA EROSIÃO.

Nas Figuras 7, 8 e 9 pode-se ver que antes da formação da voçoroca já existiam feições erosivas no local. Através Figura 9 de 2013, datada de aproximadamente 5 meses após o início da formação da cavidade da voçoroca, e da Figura 10 de 2015, podem-se ver a diferença do tamanho da cavidade, o que evidencia o aumento da mesma.



Figura 7: Feições Erosivas em 24/09/2003 (Google Earth. Acesso em: 20/01/2017)



Figura 8: Feição Erosiva em 28/08/2008 (Google Earth. Acesso em: 20/01/2017)



Figura 9: Feição Erosiva em 08/09/2012 (Google Earth. Acesso em: 20/01/2017)



Figura 10: Cavidade das voçorocas em 05/05/2013 (Google Earth. Acesso em: 20/01/2017)



Figura 11: Cavidade das voçorocas em 20/07/2015 (Google Earth. Acesso em: 20/01/2017)

3.2 HISTÓRICO DA EXTRAÇÃO MINERAL NO MORRO DO CRUZEIRO

A área onde hoje encontra-se o Campus Morro do Cruzeiro, era uma mina de Bauxita. Segundo publicações de Theodoro Vaz (1931) nos Annaes da Escola de Minas, a então ocorrência de bauxita no morro do cruzeiro era explorada e exportada para São Paulo, para a alimentação da indústria de sulfato de alumínio (Vaz, 1931 apud Flores, 1997). Posteriormente, conforme publicado pela empresa Alcan (2000), em 1934 o engenheiro Américo René Giannette, assinou um contrato com a Prefeitura Municipal de Ouro Preto, garantindo a este o direito de pesquisa de bauxita no Morro do Cruzeiro, e fundou a Empresa Elquisa (Eletro Química Brasileira S.A.). Em 1939 foi iniciado a produção de cimento aluminoso na Elquisa, por ordens do então presidente Américo Giannette, porém segundo uma entrevista feita com o engenheiro Raimundo de Campos Machado, publicado no livro Memória viva: Alcan alumínio (2000), a produção de cimento aluminoso foi um fracasso e nem 1 quilo do cimento foi vendido por não atender as especificações do mercado (ALCAN, 2000).

Em 1940 é iniciada a produção de alumina e alumínio primário na empresa. Em 1950 a *Alumínio Limited* comprou a Elquisa e em 1958 esta passou a se chamar Alumínio Minas Gerais

S.A. (Aluminas). A jazida de bauxita do Morro do Cruzeiro era a principal da empresa e supriu o fornecimento de bauxita até meados da década de 60, quando se encerrou a lavra dessa mina devido a problemas econômicos e a possível exaustão da bauxita. Nesta época diversas denúncias foram feitas revelando o descaso ambiental da empresa. E em 1971, a Aluminas mudou seu nome para Alcan Alumínio do Brasil Ltda (Alcan, 2000).

3.3 GEOLOGIA DA ÁREA

A voçoroca está localizada sobre em uma área de abrangência de uma antiga mina de bauxita na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, coordenadas 20°23'42.24''S e 43°30'50.53''O. Atualmente a área pertence ao *Campus* Morro do Cruzeiro - da UFOP.

3.3.1 QUADRILÁTERO FERRÍFERO

O Quadrilátero Ferrífero (QFe), localizado no porção sul do Cráton São Francisco, possui cerca de 7.200 km² e compreende os municípios de Ouro Preto, Mariana, Congonhas, Nova Lima, Belo Horizonte, Sabará, Santa Bárbara, Caeté e Ponte Nova (Almeida, 1997 *apud* Varajão, 2009), e compõe o geossistemas ferruginosos de rochas com alta concentração de ferro, parte das Formações Cauê e Gandarela (Grupo Itabira e Supergrupo Minas), recobertos por horizontes denominados canga. O QFe em virtude das características climáticas da região, apresenta forte intemperismo através da lixiviação de SiO₂ e de carbonatos. Segundo Eichler (1967), a água pluvial pode dissolver anualmente 4,55g SiO₂/m² considerando uma precipitação anual de 600 mm. O processo de intemperismo é responsável pela oxidação e hidratação da magnetita e da hematita. Segundo os perfis de intemperismo idealizados nos itabiritos do QF por Eichler (1967), temos: itabirito duro > itabirito friável > itabirito brando > hematita friável > canga. (Eichler 1967, *apud* Rosière, 2000)

3.3.2 BAUXITA

A bauxita do QFe, segundo o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) é uma rocha constituída por óxidos de alumínio hidratado de composições variáveis, cujo os principais constituintes são: a gibbsita, a bohemita, e a diásporo; e suas características são relativas a gêneses

dos depósitos. (Monte, 1994). Segundo publicações de Theodoro Vaz (1931) nos Annaes da Escola de Minas, A jazida de bauxita do Morro do Cruzeiro encontrava-se sobreposta a uma camada de argila ferruginosa, derivada de rochas xistosas de Supergrupo Minas. Neste local o autor identificou dois tipos de minério: “as bauxitas típicas”, de cor avermelhada, devido ao alto teor de ferro e as “argilas bauxíticas, variedades claras que apresentam baixos teores de ferro. Em sua publicações Vaz destacou a importância dos xistos piritosos existente na vizinhanças do Morro do Cruzeiro, em função da seu fornecimento de ácido sulfúrico, que segundo o autor apresenta grande influência nos processos de alteração da jazida (Vaz, 1931 *apud* Varajão, 1988).

Posteriormente, Guimarães (1945), verificou que a cobertura bauxítica do Morro do Cruzeiro situava-se acima de camadas de filito sericítico-hematítico, decomposto em material argiloso (Guimarães 1945, *apud* Varajão, 1988). Lacourt (1947) considerou que a cobertura de canga ferruginosa, presente na jazida de bauxita do Morro do Cruzeiro, dificultou a erosão, permitindo uma laterização especial dos filitos, com formação de bauxita (Lacourt, 1947, *apud* Varajão, 1988).

Segundo de dados de caracterização química, mineralógica e de perfis geológicos analisados por Varajão (1988), a jazida de bauxita que existia no Campus Morro do Cruzeiro era composta pelas seguintes fácies estruturais: (1) superiormente encontravam camadas ferro-aluminosas maciça, também denominada couraça, ferro-aluminosa (canga); (2) logo abaixo, camadas alumino-ferruginosas maciças; (3) camadas de bauxita maciça. Segundo o autor somente as camadas 2 e 3 eram utilizados como minério. Com relação a composição mineralógica, o autor concluiu que ue a jazida era constituída principalmente de Gibbsita, Goethita, e em menores proporções Quartzo, Anatósio e Hematita. Com relação a composição química temos Al_2O_3 (total) = 44,7%; SiO_2 (total) = 1,2%; Fe_2O_3 = 25,8%; TiO_2 = 2,7%; MnO = 278 ppm; Cr = 193 ppm; Ni = 65 ppm; K_2O = 251 ppm; Ca_2O = 198 ppm; MgO = 315 ppm; PbO = 291 ppm; Sr = 100 ppm; Co = 94 ppm; V = 93 ppm. (Varajão, 1988)

Com relação aos protominérios da jazida de bauxita que existia do Morro do Cruzeiro, Vaz (1931), Lacourt (1947) e Grossi (1966), publicaram que estes eram compostos por filitos; Guimarães e Coelho (1945), publicaram que eram constituídos de filitos e pegmatitos; e Ferreira (1983) publicou que estes eram constituídos por rochas vulcânicas ácidas. (Vaz, 1931, *apud* Varajão, 1988)

3.3.3 CANGA

A canga do QFe é constituída principalmente por hematita em cimento limonítico/goethítico e, secundariamente, por magnetita e diferentes hidróxidos e óxidos de Fe, Mn e fosfatos (Rosiére, 2000). Quando, numa canga, a estrutura da rocha é macroscopicamente reconhecível, denomina-se esta de canga estruturada, compondo um horizonte C. As cangas, embora mecanicamente resistentes, podem ser destruídas na base do horizonte, devido a eventuais oscilações do lençol freático, ou no topo, pela ação dos agentes intempéricos biogênicos, gerando um horizonte superficial A, pouco espesso, centimétrico, constituído de pequenas partículas ferruginosas, que guardam, internamente, as mesmas características texturais, químicas e mineralógicas da canga que foi desagregada (Varajão, 1988). Meneses, (2011), caracterizou a canga como um material poroso e pouco permeável, devido ao fato dos poros estarem pouco conectados (Meneses, 2011), embora constitua em uma zona de aquífero potencial dados ao grande número de falhas e trincas que apresenta.

Segundo estudos de Tardy, (1993), citados por Machado (2011), a dinâmica de formação do horizonte da canga é um processo contínuo, com movimentos verticais, laterais e oblíquos. Este inicia com o desenvolvimento de um manto de alteração acima do saprolito laterítico. Este manto é caracterizado por apresentar boa drenagem, proporcionando a percolação da água até a área de transição entre o manto de alteração (ou regolito) e o saprolito, a água acumula-se no contato entre estes horizontes, uma vez que o saprolito é impermeável. A água acumula, por sua vez, oxida o ferro presente nos minerais primários do saprolito, este processo é chamado de ferruginização. Os ions de Fe_3^+ liberados durante este processo serão precipitados na região de contato entre o saprolito e o regolito formando concentrações ferruginosas. Ao longo do tempo estes processos são intensificados e estas concentrações aumentam em espessura e estrutura, tornando a camada impermeável e resistente a erosão. Após o manto de alteração ser erodido com o passar do tempo, o horizonte da canga ficará exposto (Tardy, 1993 *apud* Machado 2011).

Schaefer (2015), classificou as áreas de canga como complexos de solos e não por afloramento de rochas como em geral admitido, ele define estas como modificações subaéreas nas formações ferríferas que exercem controle na distribuição da cobertura vegetal. Ainda segundo o autor, os solos de canga são distróficos, pedregosos, ligeiramente ácidos e apresentam baixa capacidade de troca catiônica, estas características são consequência do avançado grau de intemperismo responsável pela intensa lixiviação dos nutrientes e das cargas elétricas; a baixa

capacidade troca de cátions, pode ser atribuída pela baixa quantidade de matéria orgânica existentes na área de cangas, a baixa quantidade de matéria orgânica, por sua vez pode ser atribuída a ação do fogo e a atividade mineral, que rotineiramente destroem a fauna e flora local, e por outras atividades de ação antrópica.

Topograficamente, a canga ocorre como capeamento da formação ferrífera *in situ*, podendo ser classificada em três tipos : laterítica, detrítica e estruturada (Almeida, 2011). A canga laterítica é formada por processos de intemperismo químico de rochas ferruginosas, não sendo observados fragmentos cimentados a parcialmente cimentados. A canga detrítica, também denominada canga nodular (Rizzini, 1979) é formada por quantidade variável de fragmentos detríticos de formação ferrífera como hematitas cimentados por limonita e goethita. A canga detrítica assim como a laterítica costumam ser encontradas nas áreas mais baixas, onde predomina a infiltração de água e o acúmulo de material. A canga estruturada, ou canga couraçada (Rizzini, 1979), é um estágio avançado de alteração pela hidratação dos minerais de ferro e lixiviação da sílica, e as estruturas da rocha são encontradas preservadas e esta é típica de regiões de topografia inclinada, onde predomina o escoamento superficial da água e saída de material (Almeida, 2011)

Segundo análises de granulometria, pH, fertilidade, mineralogia e geoquímica de lateritas exposta e triturada, e análises visuais da área e das plantas em estudo, Machado (2011), chegou as mesmas conclusões de Brady & Weil (2008), que a simples redução granulométrica da laterita proporciona um maior desenvolvimento de plantas uma vez que facilita diversos fatores essenciais para o bom crescimento destas, como, 1) a infiltração e retenção de água no no substrato; 2) o acúmulo de matéria orgânica e inorgânica; 3) o estabelecimento de sementes e o crescimento das raízes; e 4) o aumento da área superficial de contato acarreta em uma maior troca de cátions e uma maior biodisponibilidade de macro e microelementos essenciais para as plantas. Porém estes ainda apresentam baixas concentrações de Ca, K, Mg e Na, caracterizando assim o substrato como distrófico. Como esperado, também foram encontradas altas concentrações de Fe e Al, afirmando assim a necessidade de plantas tolerantes ou resistentes a metais (Machado, 2011; Brady & Weil, 2008).

3.4 VEGETAÇÃO DA ÁREA

Devido às variações tipológicas da canga, vários termos foram propostos para denominar a vegetação associada elas, como por exemplo, temos a denominação de Rizzini (1997), que a classificou como um dos subtipos de Campo Limpo, os Campos Ferruginosos. Também a denominaram como Campos Rupestres Lateríticos, Vegetação de Canga, Savana Metalófila, Vegetação Metalófila, Vegetação de Bancada Laterítica, dentre outros (Carmo & Jacobi, 2013; Scalon, 2012; Schaefer, 2015).

Uma das descrições mais abrangentes da vegetação sobre canga é de Jacobi (2007), que descreve as áreas de canga como um mosaico de ambientes, um geossistema, dentre os quais se destacam superfícies rochosas, fendas, depressões, capões, pequenos lagos temporários e cavernas, onde pode-se encontrar, principalmente, ervas (Carmo & Jacobi, 2013) e também estratos herbáceos quase contínuos, com arbusto e subarbustos esparsos, interrompido por trechos de canga exposta, além de trepadeiras, palmeiras e plantas parasitas em menor proporção. Porém, devido a intensa atividade antrópica, principalmente a atividade mineral, que retira toda a cobertura vegetal e as camadas superficiais de solo, quase todos os habitats originais das áreas de canga foram destruídos (Jacobi, 2007). Como pode-se ver através da Figura 3, atualmente, a área está recoberta em sua maioria por Eucaliptos e capins, porém grande parte da área é caracterizado pelo solo exposto.

As plantas apresentam inúmeras adaptações anatômicas, fisiológicas e reprodutivas, de maneira que estas são adaptadas a ambientes oligotróficos, e capazes de tolerar características ambientais limitantes, como solos rasos, *déficit* hídrico, baixa fertilidade, alta concentração de ferro oxidado e alumínio, baixa retenção de água, amplitudes térmicas diárias acentuadas, incidência frequente de fogo, alta exposição solar e ventos cortantes (Jacobi, 2007; Schaefer, 2015). Os domínios fitogeográficos com maior influência na vegetação associada às cangas foram a Mata Atlântica e o Cerrado (Carmo e Jacobi, 2013).

3.5 CLIMA

O zoneamento climático realizado por Sá Júnior, (2009), com base nas classificações climáticas de Köppen & Geiger (1928), classificou o clima do município de Ouro Preto como um

clima temperado úmido com invernos secos e verões moderadamente quentes - Cwb (Sá Júnior, 2009). Segundo os dados do IBGE de 2015, visualizados no Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, Ouro Preto apresenta uma precipitação média de 1700 mm/ano. Em Janeiro verifica-se a mais alta taxa pluviométrica, com aproximadamente 300 mm/mês de chuva, e o mês de Agosto, apresenta a menor taxa pluviométrica, com uma média de 25 mm/mês de chuva. Com relação a temperatura , em 2015 teve-se uma média anual de 19° , sendo que nos meses mais quentes a temperatura variou entre 20° e 23°, e nos meses mais frios entre 13° e 16° (Reis, 2016).

3.6 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Segue abaixo o Levantamento Cadastral da Erosão, realizado pelo técnico Oscar Felipe Fuentes, responsável da empresa ANDINNA, Serviços e sistemas de informação, em 2013 (Figura 12).

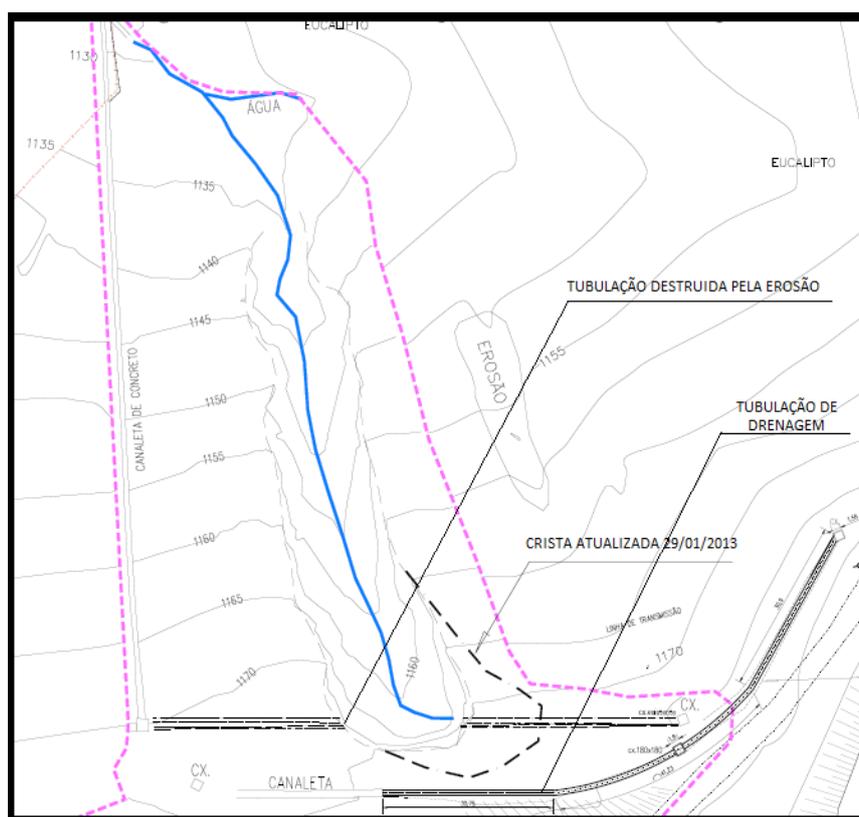


Figura 12 : Levantamento topográfico da área (Adaptado de: Levantamento Cadastral da Erosão, realizado pelo técnico Oscar Felipe Fuentes, pela empresa ANDINNA Serviços e sistemas de informação, 2013).

3.7 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

Seguem abaixo tomografias elétricas cedidas pela Prof^a. Dr^a. Maria Silvia Carvalho Barbosa, obtidas a partir da inversão de dados geofísicos. Estes dados fazem parte de um banco de dados que contém diversos dados de levantamentos eletroresistivos obtidos em aulas de técnicas de campos da disciplina de Geofísica do curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto.

O levantamento eletroresistivos baseia-se na premissa que a resistividade de um meio, isto é, sua tendência a não conduzir corrente elétrica, varia muito em consonância com as características do substrato. O equipamento utilizado em levantamentos de eletroresistividade é denominado resistivímetro. O resistivímetro utilizado nestes levantamentos foi o MTD-20KWe, da MEGABRAS. Este equipamento é composto por 4 eletrodos, dois eletrodos de corrente e dois eletrodos de voltagem. Os eletrodos de corrente são responsáveis pela geração de uma corrente elétrica em suas imediações, tal corrente induz artificialmente um campo eletromagnético. Os eletrodos de voltagem, por sua vez, são responsáveis por medir a diferença de potencial gerada pelo fluxo de carga induzido. Através da variação do potencial é possível obter informações sobre as propriedades elétricas do substrato, tendo em vista que a resistividade elétrica do meio pode ser estimada a partir da diferença de potencial medida entre os dois eletrodos de voltagem.

Os levantamentos foram realizados em dois perfis paralelos acima da cabeceira da voçoroca como mostra a Figura 13. O método utilizado foi o da sondagem elétrica vertical (SEV), neste método de levantamento os eletrodos são dispostos em um mesmo espaçamento relativo, de maneira que após serem realizadas as medições em um determinado ponto, o arranjo, como um todo, sofre uma expansão a fim de aumentar a profundidade de alcance do método. Apesar da expansão, o centro do arranjo é mantido em um determinado ponto e apenas suas extremidades são expandidas (Tolentino, 2013).



Figura 13 : Localização dos perfis 1 e 2 analisados pelos levantamentos eletrorresistivos (Google Maps. Acesso dia: 05 abr. 2017).

Os arranjos de organização dos eletrodos utilizados nesses levantamentos estão ilustrados na Figura 14. São utilizados quatro eletrodos: A, B, M e N. Os eletrodos A e B são responsáveis pela emissão de uma corrente elétrica no solo, e os eletrodos M e N são eletrodos responsáveis por medir a voltagem em um determinado ponto. Esse arranjo permite a investigação de uma profundidade $a/2$, no ponto médio entre os eletrodos M e N. Este modelo de arranjo é denominado arranjo tipo Wenner, onde $n=1$ representa o primeiro arranjo de posicionamento dos eletrodos. Após serem coletados os valores de resistividade, os eletrodos são rearranjados como mostra o indicado por $n=2$ na Figura 14, e assim sucessivamente até alcançar a profundidade máxima desejada.

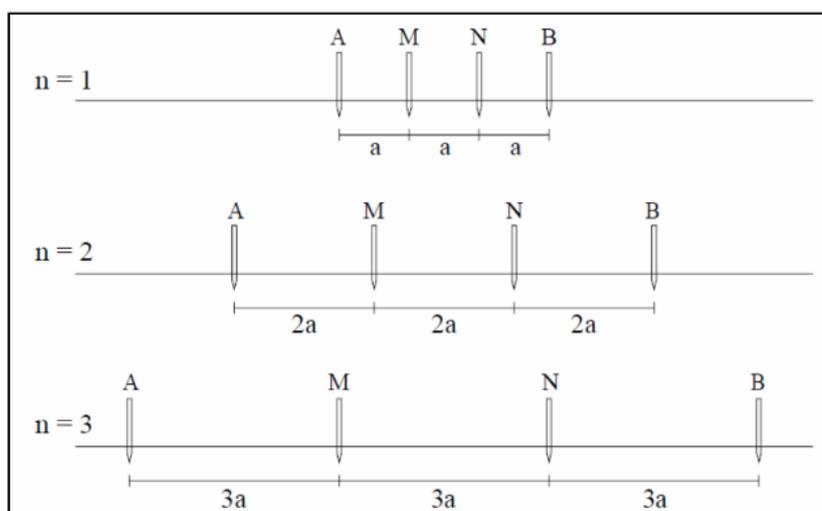


Figura 14: Arranjo de organização dos eletrodos nos levantamentos eletrorresistivos (Tolentino, 2013).

Com a coleta dos dados em campo, foram obtidas as planilhas contendo as coordenadas xyz e profundidade (a/2), onde para cada posição (ponto médio entre M e N) estimou-se um valor de resistividade aparente em ohms.metro (ρ_a). Foi alcançada uma profundidade de investigação de 8 m. Para a interpolação desses dados e geração das tomografias elétricas, foi utilizado o programa Geosoft. Em todas as tomografias abaixo, as regiões menos resistivas estão representadas na cor azul e as regiões mais resistivas estão representadas na cor lilás. A diferença de resistividade observada ao longo dos perfis é atribuída ao fato de que a resistividade do meio também está relacionada à saturação da água no local. Um substrato saturado tende a apresentar uma menor resistividade quando comparado a um substrato não saturado, uma vez que a água é uma excelente condutora de eletricidade (condutividade eletrolítica). Esta região saturada é provavelmente resultado da presença do lençol freático.

Foram selecionados dados provenientes de 2 levantamentos. Um deles foi realizado em uma época caracterizada por secas, dia 27/04/2015. O outro levantamento selecionado, foi realizado em uma época do ano caracterizada por altas taxas pluviométricas, no dia 12/12/2015.

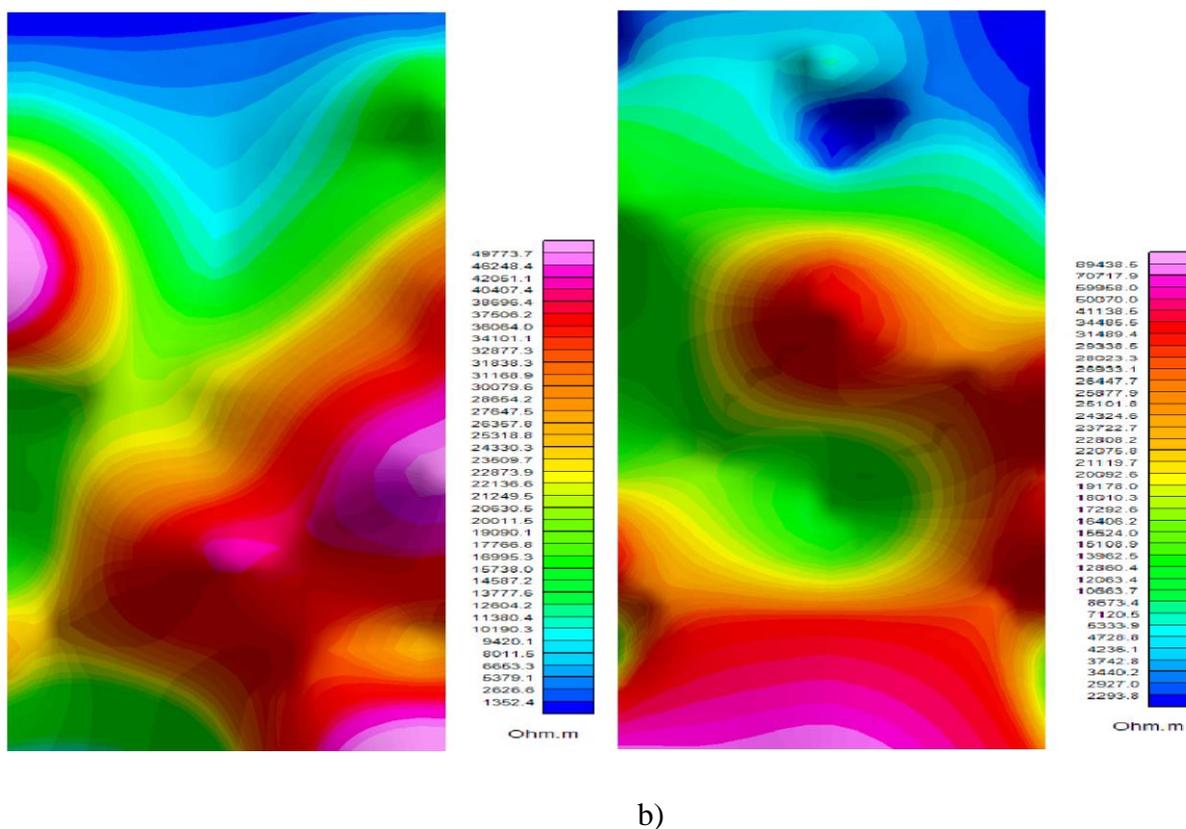
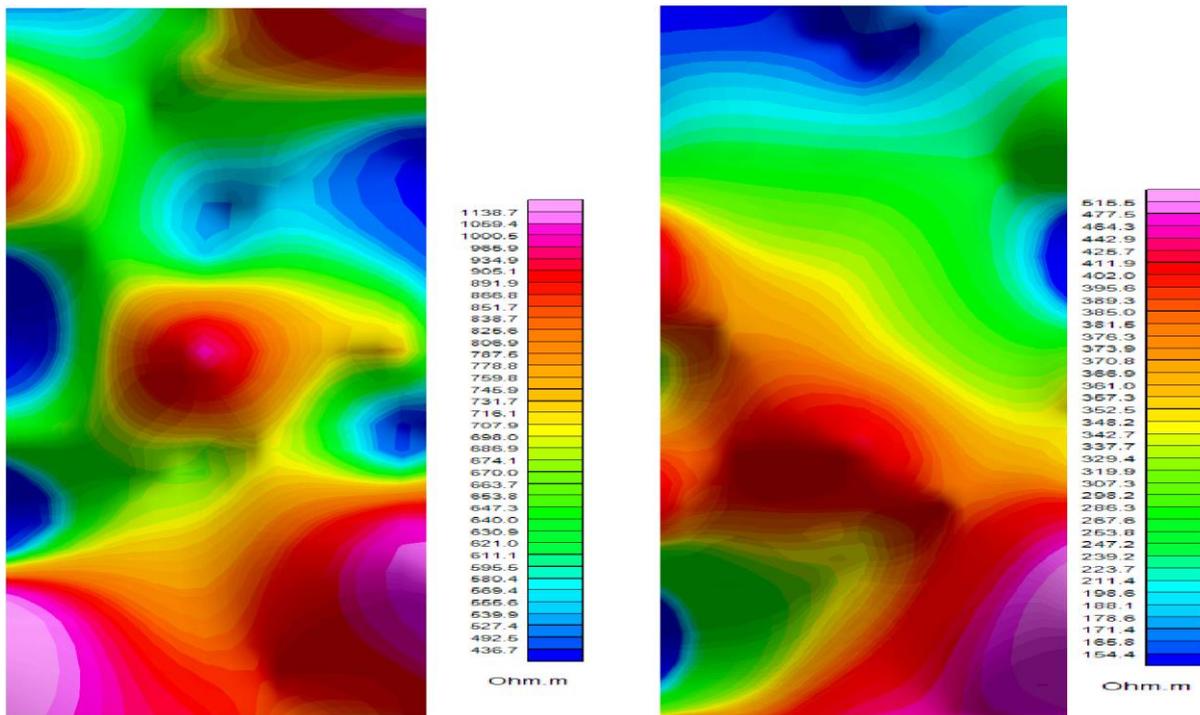


Figura 15: Tomografia do levantamento 1 (período seco - 27/04/2015) - a) perfil 1 e b) perfil 2.



a)

b)

Figura 16: Tomografia do levantamento RES 2 (período chuvoso - 12/12/2015): a) perfil A e b) perfil B

Como pode-se observar através das Figuras 15 e 16, os valores de resistividade aparente diminuíram no período chuvoso evidenciando o saturamento em decorrência da água da chuva e do freático presentes nas áreas de falhas.

3.8 SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS E ESGOTO PRESENTES NA ÁREA E FORMAÇÃO DA EROSÃO

Na área de estudo, pode-se ver através da Figuras 17 a presença de uma canaleta longitudinal de descida construída em concreto. Esta canaleta faz parte de um sistema de drenagem de águas pluviais e de esgoto de edifícios próximos, localizados a nordeste da cavidade das voçorocas (Figura 1), que direciona a água até o Rio do Carmo. Segundo informações cedidas pela prefeitura do Campus Universitário Morro do Cruzeiro, uma antiga tubulação de condução de água deste sistemas de drenagem apresentou falhas e rompeu entre novembro e dezembro de 2012, acarretando um fluxo de água inadequado, como mostra o levantamento topográfico da Figura 12

(em coloração azul), que colaborou para o arraste de partículas e para a formação da cavidade da voçoroca (Voçoroca 1). Na tentativa de não aumentar a erosão provocada, redirecionaram o fluxo de água que vinha da tubulação rompida para uma outra área, o que acarretou na formação da segunda voçoroca (Voçoroca 2). Em 2013 foi construída uma nova tubulação, porém a expansão da cavidade da voçoroca resultou no desmoronamento deste novo duto de condução. Atualmente está sendo construída uma nova tubulação de condução de água para este sistema de drenagem acima da cavidade da voçoroca, porém tendo em vista que a cavidade da voçoroca não está estabilizada, esta nova tubulação também apresenta risco de desmoronamento, o que poderia acarretar na perda do capital e da mão de obra investida na reforma deste sistema de drenagem.



Figura 17: Canaleta longitudinal de concreto existente a oeste da cavidade da voçoroca.

O grande fluxo de água suportado por esta drenagem é decorrente da concentração da drenagem superficial de boa parte do *campus* da bauxita.

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA

Na escolha das práticas conservacionista de caráter mecânico, foram consideradas as seguintes características: (1) as características físicas do substrato; (2) a infraestrutura do local; (3) os aspecto financeiro; e (4) os aspectos práticos do método que demanda baixa necessidade de manejo e/ou reparos.

Na escolha das práticas conservacionista de caráter vegetativo, foram considerados: (1) as características físicas e geoquímica da área; (2) plantas que possuem capacidade de retenção de sedimentos; e (3) plantas nativas mais adaptadas ao substrato, que poderão crescer e se reproduzir proporcionando assim o estabelecimento da cobertura vegetal na área e também o desenvolvimento de sucessões ecológicas.

Seguem, abaixo, as diversas práticas de recuperação de áreas e contenção de processos erosivos analisadas.

4.1 PRÁTICAS DE CARÁTER MECÂNICO

Segue abaixo características das práticas de caráter mecânico, utilizadas em contenção de processos erosivos e estabilização de encostas, que foram previamente selecionadas:

4.1.1 RETALUDAMENTO

Tendo em vista as características físicas e climáticas da área, as práticas conservacionistas de caráter mecânicos, essenciais para a estabilização e recuperação do terreno, variam de acordo com as medidas de estruturação escolhidas. Tendo em vista que as laterais da cavidade da voçoroca apresentam inclinação de aproximadamente 90° sugere-se adotar diferentes técnicas para sua estabilização. Uma delas seria o retaludamento completo da área visando diminuir a inclinação das encostas, como mostra o exemplo da figura 18.

A proposta do retaludamento, apesar de se mostrar eficiente na maioria dos casos estudados, necessita, além de um alto investimento, de condições adequadas de infraestrutura para possibilitar

a movimentação de terra com uma escavadeira hidráulica. Esse retaludamento visa diminuir a



declividade da encosta e possibilitar o plantio de mudas e sementes.

Figura 18: 1- Voçoroca em seu estado original; 2- Voçoroca em retaludamento mecânico com escavadeira hidráulica; 3- Voçoroca retaludada; 4- Voçoroca retaludada com coveamento (Ferreira, 2015).

4.1.2 PREENCHIMENTO DA CAVIDADE DA VOÇOROCA

Um outro método de reestruturação de áreas de voçoroca e de reconformação de terrenos muito utilizado em meios urbanos é o preenchimento total da cavidade da voçoroca, ou com materiais provenientes da construção civil ou com pedras e solos diversos, porém dependendo da infraestrutura da área, o grande porte da voçoroca e a dificuldade de acesso ao local, este método pode se tornar inviável e dispendioso. Além disto, dependendo das características da erosão e do substrato este método pode não resolver o problema da erosão de maneira eficiente uma vez que os arredores das áreas afetadas, ainda, poderiam sofrer com a ação da erosão superficial pela ação da

água da chuva e/ou ação de erosão subsuperficial por variações no nível do lençol freático em dias chuvosos, podendo acarretar na formação de uma nova incisão erosiva ainda mais próxima das construções locais.

4.1.3 DRENAGEM DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA.

Segundo Ferreira, (2015), obras de disciplinamento das águas superficiais devem ser as primeiras a serem executadas com o intuito de minimizar a perda de sedimentos com o arraste de partículas com a água da chuva e com avanço da feição erosiva, com estes fim, os sistemas de drenagem podem ser superficiais ou internos, e estes são, em geral, combinados com os dispositivos de proteção superficial do talude.

Os sistemas de drenagem superficial devem captar e conduzir as águas que incidem na superfície do talude, considerando-se não só a área afetada pelas incisões erosivas mas também os arredores. Existem diversos dispositivos de drenagem superficial que podem ser selecionados para o projeto dependendo das características da área, dentre eles estão canaletas transversais, canaletas longitudinais de descida (escada), dissipadores de energia, caixas coletoras, entre outros (Gerscovich, 2015).

Quando erosão atinge o lençol freático, um fluxo de água é formado no fundo da cavidade da voçoroca e para reter os sedimentos que são carregados por esse fluxo é necessário a construção de uma pequena barreira contra fluxo e também de uma drenagem que conduza a água vertente para um outro dreno de água. Esta drenagem pode ser construída com pedras, madeiras ou feixes de bambu, como mostra a Figura 19.



a)

b)

Figura 19: a) Área com voçoroca antes do projeto de recuperação. b) Área após o retaludamento e a construção do sistema de drenagem. (Vertical Green do Brasil . Acessado em : 13 fev. 2016.)

O sistema de drenagem deve apresentar o dimensionamento previamente calcular para conseguir conduzir as águas de maneira eficiente. Sistemas de drenagens mal elaborados podem acarretar na formação de um fluxo concentrado de água o que poderia acarretar na formação de erosão.

4.1.4 MURO DE ARRIMO PARA ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS VERTICAIS E RETENÇÃO DE SEDIMENTOS

Os muros de arrimos são estruturas longilíneas de contenção vertical ou quase vertical, projetadas para suportar pressões laterais decorrentes de maciços de pedra, cujo peso próprio ou sua resistência à flexão opõe-se ao empuxo horizontal do solo e podem ser apoiadas por uma fundação rasa ou profunda (Leal, 2014). Existem diferentes tipos de muros de arrimos, dentre os mais utilizados pode-se citar: (1) muros de gravidade - construídos de alvenaria, pedra, concreto, gabiões ou pneus; (2) muros de flexão ou contraforte, construídos com ou sem contraforte e com ou sem tirantes; (3) muros de tirantes ancorados, utilizados para aumentar a resistência a tração; entre outros.

Os muros de arrimo são comumente utilizados na estabilização de processos erosivos como voçorocas juntamente com outros métodos de Bioengenharia.

Os muros de arrimo de gravidade podem ser construídos exclusivamente com pedra, estas devem ser empilhadas manualmente de maneira cuidadosa e precisa, pois a resistência do muro resulta unicamente do empilhamento dos blocos de pedras e a estabilidade interna do muro requer que os blocos tenham dimensões aproximadamente regulares, a fim de diminuir o atrito entre as pedras. Este muro apresenta como vantagens a simplicidade de construção e a dispensa de dispositivos de drenagem, pois o material do muro é drenante. Entretanto, é preciso prever que poderá ocorrer colmatação (preenchimento dos poros dificultando a drenagem natural do muro) (Leal, 2014). Se por um lado tem-se a perda de permeabilidade da estrutura pela sedimentação de partículas de solo transportadas para os vazios do interior do gabião, por outro, este processo

favorece a consolidação do material de enchimento e possibilita o desenvolvimento de uma cobertura vegetal e conseqüentemente a eficácia da estruturação do terreno ao longo do tempo.

Outra vantagem é o custo reduzido, especialmente quando os blocos de pedras estão disponíveis no local. Muros de pedra sem argamassa devem ser recomendados unicamente para a contenção de sedimentos de processos erosivos ou para a contenção de taludes com alturas de até 2 m e a base do muro deve ter largura mínima de 0,5 m e deve ser apoiada em uma cota inferior à da superfície do terreno, de modo a reduzir o risco de ruptura por deslizamento no contato muro-fundação (Gerscovich, 2015).

Os Muros de Arrimo de Gravidade também podem ser construídos com canga desde que esta apresentem dimensões grandes e regulares, também são necessários cangas de menor granulometria para preencher devidamente os vazios. Estes são frequentemente utilizados no interior das cavidades das voçorocas como barreiras de sedimentos (Machado, 2006).

3.1.5 BARREIRAS CONTRA FLUXO

As barreiras contra fluxo baseiam-se no princípio da imposição de um obstáculo perpendicular ao sentido do escoamento da água, reduzindo a velocidade e energia deste e conseqüentemente seu efeito erosivo sobre solo. As barreiras são permeáveis e atuam de forma a reter os sedimentos carregados e permitir o fluxo de água. Existem diversos modelos de barreiras, sendo que os mais comuns são as paliçadas (Figura 20) e as bermalongas. Estas podem ser produzidas de diversos materiais como bambu, madeira, fibras vegetais, entre outros. Algumas podem ainda ser usadas com a função de consolidar e estabilizar leitos de canais e taludes. A fim de conter efetivamente a erosão, as barreiras contra fluxo devem estar associadas à outras técnicas de combate à erosão, como plantio de gramíneas e arbustos e a aplicação de biomantas (Santos, 2015).

As barreiras também podem ser construídas utilizando troncos de madeira enterrados na vertical de maneira para formar uma seção perpendicular à declividade do terreno, ou como exposto anteriormente, estas também podem ser construídas utilizando pedra, e podem ser construídas como muros de gravidade.



Figura 20: Paliçadas para a contenção de processos erosivos (Jornal da PUC. Disponível em: <<http://jornaldapuc.vrc.puc-rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=2755&sid=24>> . Acessado em: 13 fev. 2016.

4.2 PRÁTICAS DE CARÁTER VEGETATIVO:

Dentre os métodos de ancoramento de sedimentos em encostas, o com maior aplicabilidade técnico-econômica e o mais sustentável é a estabilização de solos através da revegetação. De preferência as espécies de plantas selecionadas para este fim devem apresentar o sistema radicular profundo e desenvolvido, para maximizar o volume de solo estabilizado pelas raízes das plantas e a retenção de sedimentos carregados pela água da chuva (Couto, 2010).

4.2.1 O USO DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

Alguns estudos mostram que as gramíneas (Família Poaceae) são muito eficientes na estabilização de solos devido ao caráter pioneiro das mesmas e ao fato de que estas apresentam crescimento rápido e abundante, promovendo uma cobertura eficiente e perene para o solo (De Beats, 2006; Marques, 2014). As gramíneas também são apontadas como a família vegetal mais resistentes à queima, em função de sua rápida capacidade de regeneração (Coutinho, 1994 *apud* Couto, 2010). Isto se deve ao contínuo crescimento foliar do meristema intercalar e de novos filhotes, oriundos de meristemas protegidos abaixo do solo ou na base das bainhas persistentes.

Desta maneira a queima da parte aérea das plantas não afetará a sua estabilidade e proteção da área, uma vez que a gramínea tem grande habilidade de recuperação e rebrotamento (Wilgen, 1996, *apud* Cout, 2010).

Além das gramíneas, as leguminosas também são frequentemente selecionadas em projetos de recuperação de áreas degradadas, pois também apresentam rápido crescimento e deposição abundante de serapilheira. Além disso, algumas leguminosas apresentam a capacidade de associar-se a organismos fixadores de nitrogênio. Com este consórcio a flora instalada apresenta uma composição heterogênea de espécies, a ciclagem de nutrientes é mais intensa, a composição dos elementos solo é mais diversificada, portanto a planta é mais sadia e conseqüentemente a ocorrência de pragas é menor e a porcentagem de recobrimento do solo é maior (Primavesi, 1980).

Além disso, a estabilização do solo proporcionada pelo sistema radicular de plantas de diferentes espécies é mais eficiente, já que cada espécie ocupa uma profundidade de solo diferente, ao contrário de um sistema em que é utilizada apenas uma espécie (Couto, 2010).

4.2.2 RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA A TENSÕES CISALHANTES E O SISTEMA RADICULAR DAS PLANTAS

Segundo Couto, (2010), diâmetro das raízes é inversamente proporcional à resistência radicular à tensões cisalhantes do solos. Isso acontece, pois as raízes finas têm uma maior superfície de contato com o substrato, o que garante ao solo uma maior coesão aparente e as plantas uma maior resistência ao arranquio se comparada às plantas com raízes de maior diâmetro. Uma planta que apresenta uma elevada concentração de fibras radiculares de pequeno diâmetro é mais efetiva na estabilização de encostas do que uma planta que possua poucas raízes de maior diâmetro. O autor constatou também que este aumento de resistência é diretamente proporcional à profundidade explorada pelas raízes, pois quando as raízes penetram no solo até atingir fraturas ou fissuras presentes na rocha-matriz ou até atingir zonas de transição onde a densidade e a resistência do solo ao cisalhamento são maiores, as raízes se fixam, promovendo a transferência de forças sofridas na superfície para estas zonas de maior estabilidade (Greenway, 1987, *apud* Couto, 2010).

Os pesquisadores Gray e Sotir, (1997), verificaram através de testes executados em campo e em laboratório, o aumento da resistência ao cisalhamento por unidade de concentração de fibra

radicular da ordem de 112,72 a 132,52 kPa, em diferentes espécies de plantas. Além disso, ao efetuarem a análise da estabilidade de taludes, verificaram que uma pequena variação na coesão aparente, devido ao sistema radicular, pode influenciar substancialmente o fator (coeficiente) de segurança dos taludes (Gray e Sotir, 1997, apud Couto, 2010).

Como pode-se ver no gráfico elaborado pela empresa DeFlor, (Figura 21), o parâmetro de segurança do talude aumentou significativamente, tanto para a condição saturada como para a condição não saturada. Porém, esse efeito estabilizador pode ser minimizado devido a compactação do substrato e a falta de oxigenação em profundidade ou quando ocorre pouca penetração das raízes ao longo do perfil. No entanto, nesses casos, as raízes laterais podem exercer importante papel, em decorrência da manutenção de um manto contínuo de raízes ao longo das camadas superficiais, aumentando a resistência destas a processos erosivos (Coelho e Pereira, 2006).

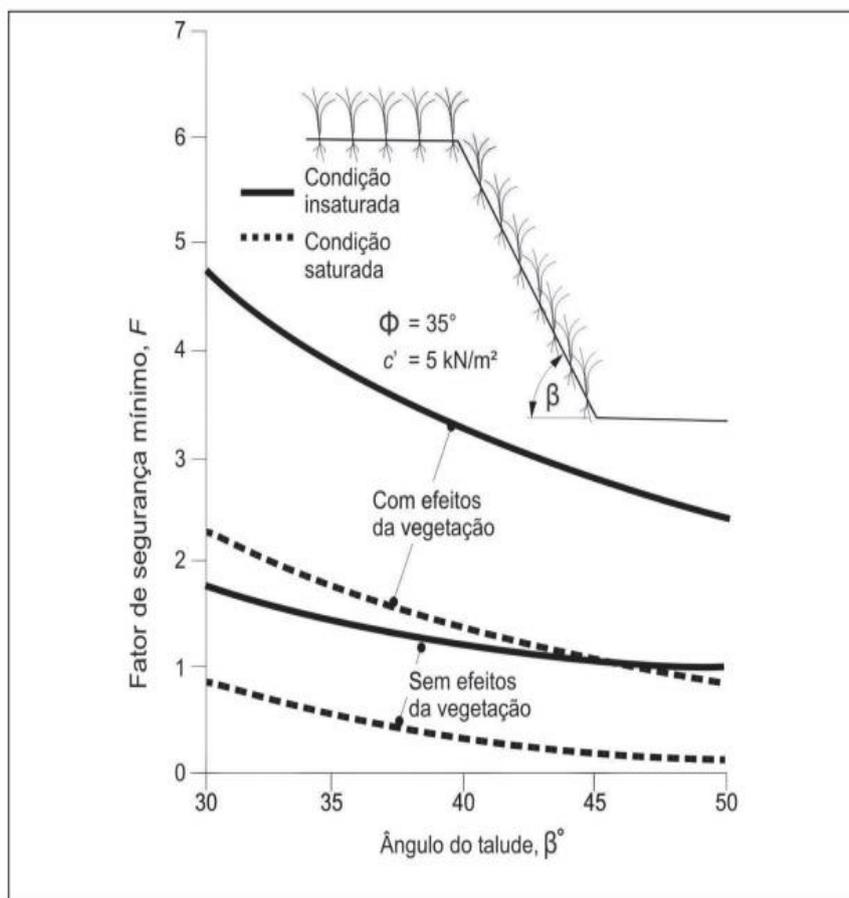


Figura 21: Efeito da vegetação na estabilidade de talude, em função do fator de segurança e inclinação do talude, para um substrato com ângulo de atrito de 35° e coesão efetiva de 5 kN/m^2 (Coelho e Pereira, 2006).

Por outro lado, analisar a altura máxima e o tempo de crescimento das plantas é fundamental para garantir a estabilidade a longo prazo de uma encosta em recuperação pois caso uma planta atinja uma grande altura em um curto espaço de tempo, o peso desta pode colaborar para um aumento nas tensões cisalhantes favorecendo a insegurança da encosta.

4.2.3 A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DAS PLANTAS E A MODIFICAÇÃO DO REGIME HÍDRICO DO SOLO

A evapotranspiração pode ser definida como a perda da umidade do solo para a atmosfera através da transpiração das plantas. Com esta redução da umidade do solo, ocorrem alterações significativas no equilíbrio de forças deste, uma vez que os valores de porosidade da água são reduzidos, e a quantidade de água necessária para que ocorram essas condições de saturação aumentam. Com isso a quantidade de água precipitada necessária para causar instabilidade no solo com vegetação é maior do que a quantidade necessária para um solo sem vegetação, aumentando assim o coeficiente de segurança de taludes em condições de saturação (Coelho e Pereira, 2006).

4.2.4 BIOMANTAS

As biomantas são construídas de fibras vegetais desidratadas, dilaceradas e entrelaçadas por meio de uma costura industrial com fios biodegradáveis de polipropileno (o que permite prever sua longevidade). Estas formam uma trama resistente que garante uma proteção imediata para o terreno contra erosão superficial provocada pela água da chuva e favorecem a infiltração da água no subsolo. Estas também são eficientes em processos de deslocamento e mobilização de solos pois são fabricadas e instaladas de forma a garantir resistência à tração. Além disso, apresentam a vantagem de ser 100% biodegradável, de maneira que incorporam matéria orgânica no solo e também atuam como uma cobertura que retém umidade e possibilita a germinação de sementes, são flexíveis, de baixo custo e práticas.

As biomantas podem ser utilizadas como proteção e estabilização de encostas, recuperação de áreas degradadas, entre outros. A Figura 22, mostra o antes e depois da recuperação de uma área afetada por um processo erosivo, utilizando biomantas nas encostas.



Figura 22: a) Área erodida antes do projeto de recuperação. b) Área após a execução do projeto elaborado pelo empresa DeFlor, Bioengenharia (Boletim Técnico DeFlor Bioengenharia)

CAPÍTULO 5: PLANO DE RECUPERAÇÃO PROPOSTO PARA A ÁREA EM ESTUDO

Segue abaixo o plano de recuperação proposto para a área.

5.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Como mostrado anteriormente, já existe um levantamento topográfico da área elaborado pela empresa Edina, contratada da Prefeitura do *Campus* Universitário Morro do Cruzeiro, porém este levantamento é antigo e não condiz com a realidade atual da cavidade da voçoroca, além disso não foi disponibilizado a escala do mapa, o que impossibilita os cálculos de área e volume da cavidade. Desta maneira, a fim de possibilitar o desenvolvimentos das atividades do plano de recuperação da área, é fundamental que seja realizado um novo levantamento topográfico planialtimétrico da área, com curvas de nível, em escala compatível com as dimensões da encosta. O levantamento deverá indicar o contorno da cavidade das voçorocas 1 e 2 e também a indicação da nova feição erosiva existente, além disso deverá indicar todas as obras de drenagem superficiais e subterrâneas existente no local, os edifícios e construções nos arredores da área e também os cursos e afloramentos de água.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA ÁREA E RECOLHIMENTO DAS SEMENTES EXISTENTES.

A listagem da vegetação existente na área previamente a realização de projetos de recuperação ou reabilitação de áreas degradadas facilita na futura seleção de plantas que permitem restabelecimento de uma sucessão ecológica no local, uma vez que desta maneira, seria possível identificar plantas que são naturalmente adaptadas às condições de solo, temperatura e umidade local, auxiliando assim, no estabelecimento da cobertura vegetal. Desta maneira, previamente a limpeza da área, essencial para os obras de retaludamento e estabilização das encostas, deve ser feita a listagem das plantas existentes no local de estudo (Figura 23), deve-se recolher as sementes das plantas listadas como nativas para posterior uso. (White & Walker, 1997 *apud* Machado, 2011).



Figura 23: Cobertura vegetal da área.

5.3 LIMPEZA DA ÁREA

Como pode-se ver na Figura 24, a área apresenta uma grande quantidade de árvores de Eucalipto nos arredores da voçoroca, e dentro da cavidade da Voçoroca 1 encontram-se diversos troncos de eucaliptos mortos que foram derrubados com a formação da voçoroca. Existem também árvores de Eucalipto que estão crescendo no interior da cavidade da voçoroca. A fim de realizar o retaludamento da área seria necessário remover as diversas árvores de eucalipto que estão no local.

Os troncos de Eucalipto cortados devem ser estocados e reutilizados na construção das paliçadas proposta na recuperação da Feição Erosiva.

Propõe-se que sejam removidas apenas as plantas que possam atrapalhar na recuperação na área, as demais devem permanecer no local tendo em vista que estas são uma fonte de matéria orgânica e sementes que ajudarão no estabelecimento de uma comunidade vegetal na área.



Figura 24: Vegetação existente na cavidade da voçoroca.

5.4 SELEÇÃO DE SEMENTES PARA O ESTABELECIMENTO DA COBERTURA VEGETAL

Segue abaixo as espécies selecionadas como cobertura vegetal. A seleção de sementes foi realizada de modo a oferecer uma variedade grande de espécies para garantir as características mencionadas nos capítulos anteriores. O critérios de escolha das plantas mais aptas para a área em estudo foi selecionar as espécies que possuíam abundância de indivíduos verificada em estudos florístico realizados previamente no local (Assis, 2009). para isto foram analisados os estudos florísticos realizados por Scalon, (2012) e Schettini (2015).

Dentre as diversas espécies de gramíneas existentes, as selecionadas foram: *Axonopus laxiflorus*, e segundo o Scalon, (2012) esta espécie é dominante nas áreas de canga do Campus Morro do Cruzeiro e mostrara-se como promissoras para utilização em recuperação de áreas

degradadas devido ao fato que propagam-se sexuada e assexuadamente. Outra gramínea selecionada foi a *Sporobolus metallicolus* Longhi-Wagner & Boechat. Esta espécie também é abundante nas áreas de canga do *Campus*, e está classificada como vulnerável à extinção na Lista de espécies ameaçadas de extinção da Flora do Estado de Minas Gerais (Deliberação Copam 367/2008) (Scalon, 2012).

A leguminosa (família Fabaceae) selecionada para o projeto foi a arbustiva devido ao fato de que segundo Schettini (2015), esta espécie é uma das que apresenta grande frequência em áreas de campos ferruginosos em altitudes elevadas como é o caso do *Campus* Morro do Cruzeiro.

Tendo em vista que segundo a Prefeitura do *Campus* Morro do Cruzeiro a área estudada é rotineiramente atingida por fogo de origem antrópica, é proposto o uso de sementes de plantas nativas que apresentem potencial de rebrota após a passagem do fogo. Em um estudo para avaliar o desenvolvimento das rebrotas caulinares e radiculares de espécies nativas de canga ferruginosa, no *Campus* Morro do Cruzeiro da UFOP, Assis (2009), evidenciou que as espécies *Byrsonima variabilis* A.Juss. (família Malpighiaceae) e a arbustiva *Stachytarpheta glabra* Cham (família Verbenaceae), apresentam bom potencial de crescimento e floração das rebrotas em um período de apenas 12 a 15 meses após o fogo, o que as garante a elas uma boa capacidade de dispersão e ocupação de uma área após a queimada. Por este motivo é recomendado o uso de sementes destas duas espécies para compor o banco de sementes que será utilizada na recuperação da área (Assis, 2009).

A espécie *Stachytarpheta glabra* Cham além de proporcionar acúmulo de matéria orgânica, propicia sombreamento e proteção física contra o vento, o que ameniza as condições ambientais e favorece o desenvolvimento e estabelecimento de plântulas. Espécies como esta são chamadas de plantas-berçário, devido sua função facilitadora na comunidade (Jacobi, 2008).

A espécie *Byrsonima variabilis* A.Juss é uma planta de hábito arbustivo e dispersão zoocórica, isto é, suas sementes são dispersas por animais como aves e roedores. Segundo Amaral (2013), foram encontrados um número significativo de indivíduos da espécie *B. variabilis* em uma área degradada com voçoroca já em um estágio de recuperação, o autor atribuiu esta ocorrência ao fato de que o substrato da área da voçoroca estudada apresentava baixa compactação. Características como esta de baixa resistência a perfuração do substrato assemelham-se às características da área deste plano de recuperação, o que reforça a necessidade do uso da *B.*

Variabilis na composição do banco de sementes proposto. Além disso ambas as espécies foram indicadas como espécies predominantes da região do Campus (Scalon, 2012)

5.5 RETALUDAMENTO DA CAVIDADE DA VOÇOROCA 1

Não se propõe o uso de uma escavadeira hidráulica devido a dificuldade de acesso ao local, uma vez que o lado leste da erosão não possui acesso para uma escavadeira tendo em vista a declividade do local e a presença das tubulações de drenagem entre a via de acesso e as erosões. Portanto a fim de diminuir a declividade das encostas, propõe-se o retaludamento manual da cavidade da voçoroca 1, com a remoção da parte superior da encosta erodida e sua reconformação de forma que as encostas devam atingir a angulação desejada. Após o retaludamento a cavidade, apresentar a forma demonstrada na Figura 25 . Como neste projeto será proposto do uso de biomantas antierosivas e estas são eficientes para uma inclinação máxima de encosta de 45° , segundo as especificações técnicas de biomantas e telas vegetais disponível no site da empresa DeFlor Bioengenharia. Portanto a inclinação do talude proposto para o projeto não deve passar de 45° , ou melhor, que a inclinação não ultrapasse o ângulo de repouso do material. O ângulo de repouso representa a angulação máxima que o substrato pode apresentar.

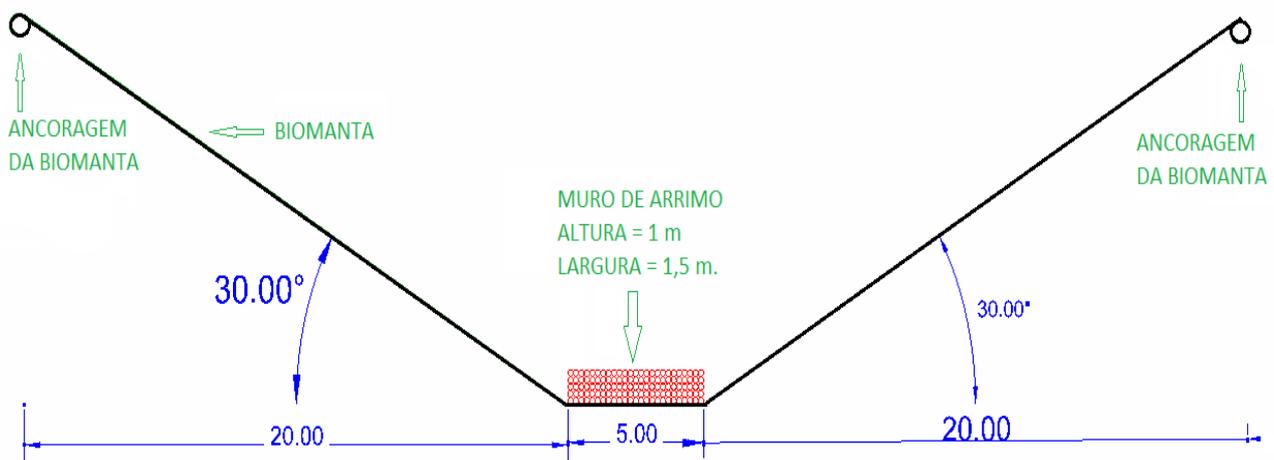


Figura 25: Desenho esquemático em perfil da cavidade da voçoroca 1

5.6 CONSTRUÇÃO DE MUROS DE ARRIMO PARA A CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS NO INTERIOR DA CAVIDADE

Propõe-se a construção de muros de arrimo de 1 m de altura e 1,5 m de comprimento no interior da cavidade retalhada da voçoroca 1 com o objetivo de reter sedimentos, como o exemplo da Figura 25. O primeiro muro deve ser construído no pé da encosta da cabeceira da voçoroca e devem ser construídos outros muros paralelos a este, com um distância entre muros de 10 m. Propõe-se que o muro seja construído manualmente com a canga, que segundo a prefeitura do *Campus* está estocada nas proximidades da área em estudo.

5.7 REGULARIZAÇÃO DO TERRENO E APLICAÇÃO DA BIOMANTA

Dentre os diversos tipos de biomantas existentes analisadas, a que possui a maior gramatura de matriz orgânica por metro quadrado de produto é a Tela Vegetal @250IC ou @1000IC. Para que as biomantas possam ficar totalmente aderidas à superfície da encosta é necessário que esta esteja mais regularizada possível, sem sulcos erosivos e espaços vazios. Após que a superfície estiver regularizada devem ser feitos micro-coveamentos, isto é, pequenas covas espaçadas de 10 cm e com profundidade suficiente de maneira a reter as sementes e os fertilizantes aplicados, Como mostra o exemplo da Figura 27.

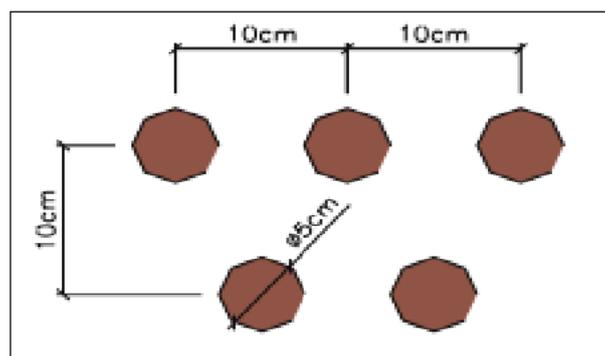


Figura 27: Ilustração do microcoveamento (Site Deflor, Bioengenharia. Acesso em: 20 jan. 2017)

As biomantas vêm de fábrica acondicionadas em bobinas com 1,5 m de largura e 33,4 m de comprimento sua aplicação deve ser iniciada pelo topo do talude, aonde deve estar ancorada como o exemplo da Figura 28, sua fixação na encosta pode ser feita com grampos de madeira, o espaçamento entre os grampos deve seguir o padrão recomendado no guia de instalação do produto

escolhido. No Guia de Instalação de Biomantas Antierosivas, Retentores de Sedimentos e Hidrossemeio, disponibilizados no site da DeFlor, Bioengenharia, encontram-se todas as etapas de instalação das biomantas que devem ser seguidas de maneira a garantir a eficiência do produto.

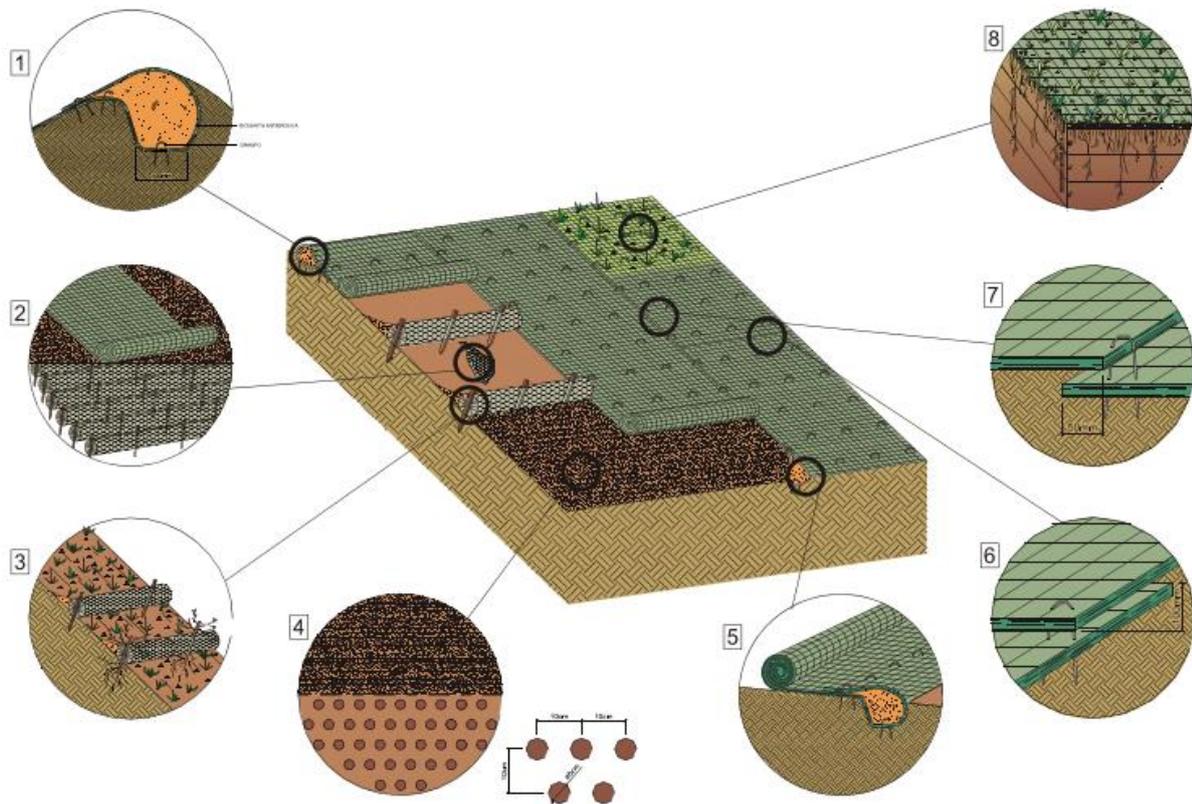


Figura 28: Instalação das biomantas (Site Deflor, Bioengenharia. Acesso em: 20 jan. 2017)

Antes da instalação da biomanta na cavidade retalhada da voçoroca 1 e na superfície preenchida canga da voçoroca 2, as sementes das plantas escolhidas devem ser espalhadas no solo.

5.8 PREENCHIMENTO DA CAVIDADE DA VOÇOROCA 2 COM CANGA

Conforme esclarecido anteriormente, a prefeitura do *Campus* Morro do Cruzeiro possui uma grande quantidade de canga estocada nas proximidades da área de estudo. Para fazer a reconformação topográfica da voçoroca 2 é proposto o uso destas cangas no seu preenchimento completo. Após o preenchimento da cavidade, devem ser espalhadas na área as sementes das plantas selecionadas para o desenvolvimento da cobertura vegetal a longo prazo e, por fim, a

biomanta deve ser instalada no local como uma forma de proteção imediata para evitar o carreamento de sedimentos pela ação da água da chuva.

5.9 CONSTRUÇÃO DAS PALIÇADAS NA FEIÇÃO EROSIVA

Como mostra a Figura:XX, a feição erosiva é de pequeno porte e pode ser contida utilizando pequena barreiras contra fluxo. É proposto o uso de paliçadas de madeira, que podem ser construídas utilizando os troncos de madeira. Tendo em vista que será retirada uma grande quantidade de troncos de eucaliptos do interior da cavidade da voçoroca 1, propõe-se que estes troncos sejam utilizados na construção das paliçadas. Após a construção das paliçadas as sementes das plantas escolhidas devem ser colocadas na área.

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Existem 2 hipóteses possíveis para a formação das erosões estudadas neste trabalho. A primeira já foi mencionada anteriormente, a qual, segundo a Prefeitura do *Campus* Universitário a formação da erosão teve início devido a um vazamento ocorrido na tubulação de condução de água de drenagem, em um dia de alta precipitação de chuva, que desencadeou a saturação do solo e posterior arraste de partículas. A prefeitura do *Campus* informou que em apenas um dia a voçoroca já atingira um tamanho visualmente aproximado do tamanho atual. Ainda pelo ponto de vista desta hipótese, a saturação do solo devido ao alto nível do lençol freático é um condicionante que poderia ter auxiliado para a liquefação do solo porém não é o desencadeador principal da erosão.

A segunda hipótese foi elaborada com base em informações apresentadas por trabalhadores locais, estudos de campo, imagens de satélite e análise geofísica. De acordo com esta hipótese, a voçoroca é a evolução de uma feição erosiva que já existia, pelo menos, desde 2003, como mostra a Figura 13. A forte chuva que ocorreu foi o estopim da erosão devido ao aumento do nível do lençol freático e da força da água superficial. O aumento do nível do lençol freático por sua vez por sua vez acarretou na saturação e liquefação do solo e o rompimento da tubulação foi uma consequência da diminuição da estabilidade do solo oriunda da liquefação. E após ser formado o vazamento, o fluxo de água concentrado aumentou, expandindo ainda mais o tamanho da voçoroca e provocando o desabamento da tubulação.

Portanto, tendo em vista que a voçoroca ainda está em processo de erosão e que a terceira tubulação proposta para a área já foi construída acima das cavidades das voçorocas, conclui-se que o plano de recuperação proposto deve ser executado com urgência, caso contrário, não apenas a nova tubulação de drenagem como as construções próximas, podem vir a sofrer desabamentos como o que ocorreu na tubulação de condução de água de drenagem em 2016.

Propõe-se que o plano seja executado entre os meses de abril e novembro (período de secas), e após o retaludamento da cavidade da voçoroca 1 a biomanta deve ser imediatamente aplicada de maneira a não possibilitar uma maior erosão.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

ALCAN ALUMINIO DO BRASIL LTDA. **Memória viva: 50 anos da Alcan Alumínio do Brasil em Ouro Preto.** Ouro Preto: Alcan 2000. 126 p.

ALMEIDA, T. **A perfilagem geofísica gama-gama em depósitos de ferro do Quadrilátero Ferrífero : uma ferramenta para medições de densidade de rocha.** (Dissertação de mestrado -PPGEM). Porto Alegre. 201. Disponível em : <
http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/37384?locale=pt_BR >. Acesso em: 15 dez. 2016.

AMARAL, W. G.; PEREIRA, I. M.; MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA, P.A.; DIAS, L. G.; MUCIDA, D. P. ;AMARAL, C S.. **Relação das espécies colonizadoras com as características do substrato em áreas degradadas na Serra do Espinhal Meridional.** Biosci. J.. Uberlândia. v. 29, Supplement 1. 2013. p. 1696-1707. Disponível em: Acesso em: 22 mar. 2017

ASSIS, F. M.; LANA, Z. M. O.; BAÊTA, H. E.; KOZOVISTS, A. R.. **Crescimento e desenvolvimento de Rebrotas de especies dos campos ferruginosos após a passagem do fogo.** Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil. São Lourenço. Minas Gerais. 2009. 2p. Disponível em: <
http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/1793/1/ARTIGO_CrescimentoDesenvolvimentoRebrotas.pdf> Acesso em: 22 mar. 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: **Estabilidade de encostas.** Rio de Janeiro. 2000. 17p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 1990. 360p.

CARMO, F. F. do; JACOBI, C. M. **A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico**. Rio de Janeiro, v. 64, n. 3, Set. 2013. p. 527-541. Disponível em : <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-78602013000300005&lng=en&nrm=iso>. Acessado em : 20 Jan. 2017.

CARVALHO, J. C.. **Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília. FINATEC. 2006. 464 p.

COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R.. **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. Boletim Técnico: DeFlor Bioengenharia. Belo Horizonte – MG, Ano 01. N.º 002. 2006. 20p.

COELHO NETTO, A. L.. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 93-148

COUTO, L. Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes. Boletim técnico. Centro Brasileiro para conservação da natureza e Desenvolvimento Sustentável. Viçosa, Minas Gerais. 2010. 118p.

DE BAETS, S. et al. Effect of grass roots on the erodibility of top soils during concentrated flow. *Geomorphology*. v.76. 2006. p. 54-67. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X05003211> >. Acessado em: 14 fev. 2017.

DUTRA, G.. Síntese dos processos de gênese de cavidades em litologias de ferro. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (orgs.) **Congresso Brasileiro e Espeleologia**. Barreiras. Anais... Campinas: SBE. 2013. p.415-426. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_415-426.pdf >. Acesso em: 27/12/2016.

FARIAS, C. A.; RESENDE, M.; BARROS, N. F.; SILVA, A. F.. Dinâmica da revegetação natural de voçorocas na região de Cachoeira do Campo, município de Ouro Preto-MG. **Revista Árvore**. Viçosa. v. 17, n. 3. 1993. p. 314-326. Disponível em :

<<https://books.google.com.br/books?id=P4yaAAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acessado em : 02 fev. 2017.

FERREIRA, R. R. M. Recuperação de voçorocas de grande porte. In: **Encontro Brasileiro sobre ravinas, voçorocas, erosão hídrica do solo e movimento de massa**. 2015, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Ufrgs, 2015. Disponível em : <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1025952>> . Acessado em : 20 jan. 2017.

FLÔRES, J. C. do C. ; DAMASCENO, E. C.. **Bauxita**: características, usos e comparação de metodologias de pesquisa. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. 1997. 241 p.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção - Muros de Arrimo** . Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia Departamento de Estruturas e Fundações. 2015. 48p.

GUERRA, A. J. T. Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações . 2ª Ed.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005. p.17-55

GOULART. M.; PEREIRA. R. A.; ALDO, J.; CALEGÁRIO, N.; LOSCHI, A.; OGUSUKU, M. L.. **Caracterização de sítios e comportamento de espécies florestais em processo de estabilização de voçorocas** Universidade Federal de Lavras Lavras CERNE, vol. 12, nº 1. Brasil. 2006. p. 68-79

JACOBI, C.M.; CARMO, F.F.; VICENT, R.C.; STEHMANN, J. R. Plant communities on ironstone outcrops – a diverse and endangered Brazilian ecosystem. In: **Biodiversity and Conservation**, v.16, n.7. 2007. p.2185-2200. Disponível em : <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10531-007-9156-8>>. Acessado em: 20 jan. 2017.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. do; VINCENT, R. C.. Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no quadrilátero ferrífero, MG. **Rev. Árvore**, Viçosa , v. 32, n. 2, Apr. 2008. p. 345-353. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622008000200017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em : 20 Jan. 2017.

LAVELLE, P; SPAIN, A.V. **Soil Ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic. 2001. 654p.

LEAL, M. M. da S.. **Projeto de uma cortina ancorada para estabilizar um muro de arrimo rompido**. (Graduação) UFRJ/Escola Politécnica. Rio de Janeiro. 2014. 124 p. Disponível em : < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010728.pdf> >. Acessado em : 02 fev. 2017.

LEPSCH, I. F. **Solos formação e conservação**. Universidade de São Paulo- Edição melhoramentos, 1977. 107p.

MACHADO, N. A. M. **Metodologias alternativas para facilitação da restauração de áreas de canga degradadas pela extração de bauxita** (Dissertação de Mestrado) 2011. 92p. Disponível em : < http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6990/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_MetodologiasAlternativasFacilita%C3%A7%C3%A3o.pdf > . Acesso em : 19 jan. 2017

MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F.C.; MENEZES, C. E. G.; SOUZA, C. M. D de; FRANCO, A .A.. **Recuperação de voçorocas em áreas rurais**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 63 p. Disponível em : < <file:///C:/Users/Aluno/Downloads/CNPAB-Recupera%C3%A7%C3%A3o-de-vo%C3%A7orocas-em-%C3%A1reas-rurais-SP.-06.pdf> >. Acessado em: 13 fev. 2017.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 27, n. 3. 2003 . p. 395-403 Disponível em : <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000300001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em : 13 Jan. 2017.

MARQUES, T. E. D.; BAÊTA, H. E.; LEITE, M. G. P.; MARTINS, S. V.; KOZOVITS, A. R.. Crescimento de Espécies nativas de cerrado e de *Vetiveria zizanioides* em processos de revegetação de voçoroca. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 843-856, out.-dez., 2014. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/16584> >. Acessado em: 14 fev. 2017.

MENEZES, S. S.; PEREIRA, C. A.; RIOGA, G. C.. **Caracterização de canga para uso como rocha ornamental**. XXIV ENTMME. Salvador. Bahia. 2011. p.849-856 Disponível em: < http://searchentmme.yang.art.br/download/2011/beneficiamento_de_rochas_ornamentais/2104%20-

%20Menezes,%20S.%20S.-

%20CARACTERIZA%C3%87%C3%83O%20DE%20CANGA%20PARA%20USO%20COMO%20ROCHA%20ORNAMENTAL.pdf >. Acessado em: 02 fev. 2017.

MONTE, M. B. de M.; RUPEN, A.. **Aspectos tecnológicos e econômicos da indústria de alumínio**. Rio de Janeiro: CETEM. 1994. 32p.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de área de risco de erosão por voçoroca. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª Ed.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005. p. 55-99.

PONÇANO, W.L.; PRANDINI, I. F. Boçoroca no Estado de São Paulo: uma revisão. In: IV **Simpósio Nacional de Controle da Erosão**, 1987, Marília, *Anais do ...* Marília:ABGE/DAEE. 1987. p.149-177.

REIS ,R. J. dos; TIBA, C.. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. v.II. Belo Horizonte. Editora Futura Express. 2016. 236 p.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. São Paulo: HUCITEC/EDUSP. Brasil. 1979. 374 p.

ROSIÈRE C.A.; CHEMALE JR., F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero - uma visão geral e discussão. **Geonomos**. 2000. p. 27-43 Disponível em : <<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/155> > Acesso em: 20 dez. 2016.

SÁ JÚNIOR, A. de. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Engenharia de Água e Solo)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009. 101 p. Disponível em : <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/3076?mode=full> > Acessado em: 15 jan. 2017.

SANTOS, L. M. **Erosão em taludes de corte: métodos de proteção e estabilização**. (Trabalho de Graduação Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá. 2015. 73 p. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/124253/000819172.pdf?sequence=1> >. Acessado em: 17 dez. 2016.

SILVA, A. S. Análise morfológica do solo e erosão. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª Ed.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005. p.101-126

SCALON, V. R.; MARTINS, C.; CÂNDIDO, E. S. Florística dos remanescentes de campo rupestre sobre canga no Campus Morro do Cruzeiro/ UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. In: **MG.BIOTA**, Belo Horizonte, v.5, n.3. ago/set. 2012. p. 19- 47. Disponível em : < <https://drive.google.com/drive/folders/0B9-68jMMTct2NnZUVkxITTZRb28>>. Acesso em : 20 jan. 2017.

SCHAEFER ,C. E.; CÂNDIDO, H. G.; CORRÊA G. R; PEREIRA, A.; NUNES, J. A. ; SOUZA, O. F.; MARINS, A.; FILHO, E. F. ; KER , J. C.. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros In: CARMO. F. F. ; KAMILO L. H.Y.; (Org.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**. 1ed. v. 1. Editora Ltda. Belo Horizonte. 2015. p. 77-102. Disponível em: <http://biomameioambiente.com.br/uploads/6/5/6/8/65687651/cap02_solos_desenvolvidos_sobre_canga_ferruginosa_aiana.pdf> Acesso: 20 dez. 2016.

SCHETTINI, A. T.. **Espécies acumuladoras de metais influenciam a composição química do solo e a composição de espécies em campos ferruginosos?**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. 2015.136p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6027/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Esp%C3%A9ciesAcumuladorasMetais.pdf>. Acesso em : 4 abr. 2017.

TOLENTINO, F. F.. **Aplicação do Método Eletroresistividade na Análise de Estabilidade de Talude**. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. 2013. 72p.

VARAJÃO, C. A. C.; SALGADO, A.A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; BRAUCHER, R.; COLIN. F.; Nalini Jr., H. A.. Estudo da evolução da paisagem do quadrilátero ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (10be) e da pedogênese. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Viçosa. v. 33. n. 5. 2009.p. 1409-1425 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000500032&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 Dez. 2016.

VARAJÃO, C. A. C.; CARVALHO, A.. **Estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG:** micromorfologia, geoquímica, geomorfologia e sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 1988. 213 p.